

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC146599

**DESAIN STRUKTUR GEDUNG TIRTA KENCANA
TATAWARNA SURABAYA MENGGUNAKAN
DUAL SYSTEM DAN METODE PELAKSANAAN
PEKERJAAN BALOK BAJA**

DIMAS PUTRA TRIYANTO
NRP. 3113 041 075

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Ir.M.SIGIT DARMAWAN,M.Eng.Sc.,Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC146599

**DESAIN STRUKTUR GEDUNG TIRTAKENCANA
TATAWARNA SURABAYA MENGGUNAKAN
DUAL SYSTEM DAN METODE PELAKSANAAN
PEKERJAAN BALOK BAJA**

**DIMAS PUTRA TRIYANTO
NRP. 3113 041 075**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof.Ir.M.SIGIT DARMAWAN,M.Eng.Sc.,Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT APPLICATION - RC146599

**STRUCTURAL DESIGN OF TIRTA KENCANA
TATAWARNA BUILDING USING DUAL SYSTEM
AND WORK IMPLEMENTATION METHOD OF
STEEL BEAM**

**DIMAS PUTRA TRIYANTO
NRP. 3113 041 075**

**LECTURER
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M. Eng. Sc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**DIPLOMA IV STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF ENGINEERING INFRASTRUCTURE CIVIL
FACULTY OF VOCATION
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

**DESAIN STRUKTUR GEDUNG TIRTAKENCANA
TATAWARNA SURABAYA MENGGUNAKAN *DUAL
SYSTEM* DAN METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN
BALOK BAJA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Terapan
Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

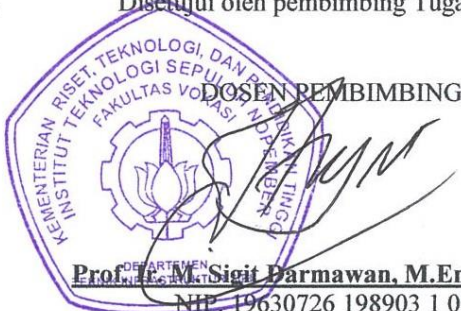
Oleh:



DIMAS PUTRA TRIYANTO

NRP. 3113 041 075

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir



31 JUL 2017

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dimas Putra Triyanto 2
NRP : 1 3113 041 095 2
Judul Tugas Akhir : Desain Struktur Gedung Tirta Kemara Tatarawarna Surabaya
dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Baja
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	9 Februari 2017	<ul style="list-style-type: none"> Untuk preliminary design bisa menggunakan "trial n error" karena tidak bisa dipatok sesuai dengan referensi yang ada Tahapan SAP 2000 bisa ditampilkan atau tidak Kontrol retak sebenarnya tidak diperlukan apabila sudah terdistribusikan 		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	21 Februari 2017	<ul style="list-style-type: none"> Pemulangan Pelat seragam semua Kolom komposit harus ada shear connector Balok kepel boleh $l_{eff} > 4$ Pelat lantai bisa dilerain sesuai keinginan 		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1 Maret 2017	<ul style="list-style-type: none"> Batas atas dan batas bawah periode bangunan diperbolehkan Berat massa \sim massa analisis Formulas prelin tidak selalu benar bisa dicoba - coba Uniform frame tidak berlaku 		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :

B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dimas Putra Triyanto 2
NRP : 1 3113 041 075 2
Judul Tugas Akhir : Desain Struktur Gedung Jirataencana Tatawarna Surabaya
 dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Bayan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. Eng.Sc.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
	14 Maret 2017	• Permodelan Pelat di SAP lebih besar dari permodelan pelat PBS				
		• Mode 1 \rightarrow SRPMK		B	C	K
		Mode 2 \rightarrow Shearwall		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Reduksi beban hidup \rightarrow dikurangi 50% sehingga menjadi 48%				
		• Dari segi biaya diameter tulangan bisa disamakan ..		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6 April 2017	• Momen Pelat balok mengarahkan yang terbesar karena bentuk pelat yang tidak beraturan		B	C	K
		• Periode balok melah batas atas dgn catitan tidak teraluykan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Beban angin sudah terpat				
	20 April 2017	• Hitung momen kolom dua arah		B	C	K
		• Desain itu "trial n error"		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5 Mei 2017	• Deek (gigi) Jarak tumpangtindih				
		• Control Point JCR COL		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60118
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dimas Putra Triyanto 2
NRP : 1 3113041075 2
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
	18 Mei 2017	• Joint M1 & M2 adalah Mx dan My				
		• Balok ditingg tidak komposit		B	C	K
		tidak masalah karena sudah memenuhi kapasitas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	15 Juni 2017	• Metode pelaksanaan dilengkapi dengan gambar tahapan				
		• Gambar sambungan beberapa tiang saja		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

DESAIN STRUKTUR GEDUNG TIRTA KENCANA TATAWARNA SURABAYA MENGGUNAKAN DUAL SYSTEM DAN METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN BALOK BAJA

Nama Mahasiswa : Dimas Putra Triyanto
NRP : 3113 041 075
Jurusan : Teknik Infrastruktur Sipil
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.Eng.Sc., Ph.D**

Abstrak

Perkembangan Industri dan perekonomian di Surabaya dewasa ini menunjukkan angka yang sangat besar, hal itu ditandai dengan pembangunan gedung yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Di Surabaya telah banyak pihak – pihak pengembang yang menyediakan ruang sehingga yang menjadi daya saing bagi gedung – gedung baru saat ini adalah lokasi dan desain yang menarik . Disamping itu gedung perkantoran harus menciptakan karakter tersendiri sebagai penunjang kegiatan produksi atau jasa yang dimiliki perusahaan tersebut.

Gedung Tirtakencana Tatawarna merupakan gedung perkantoran yang terdiri dari 21 lantai dan memiliki desain arsitektural yang berbeda atau bahkan hanya ada satu di Surabaya. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda yang terdiri dari struktur rangka pemikul momen dan struktur dinding geser. Gedung ini terdiri dari dua elemen struktur beton dan baja dimana struktur beton adalah struktur utama pada gedung ini.

Desain struktur ini mengacu pada tiga panduan utama peraturan yaitu perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung SNI 2847 2013, perencanaan bangunan tahan gempa SNI 1726 2012 dan struktur baja SNI 1729 2015. Untuk perhitungan analisa gaya dalam digunakan program SAP 2000.

Kata Kunci : Gedung Perkantoran, Sistem ganda, Desain Arsitektural

STRUCTURAL DESIGN OF TIRTA KENCANA TATAWARNA BUILDING USING DUAL SYSTEM AND WORK IMPLEMENTATION METHOD OF STEEL BEAM

Student Nama : Dimas Putra Triyanto
NRP : 3113 041 075
Department : Engineering Infrastructure Civil
Academic Supervisor : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.Eng.Sc., Ph.D

Abstrak

The development of industry and economy in Surabaya shows significant increase recently. It is marked by the the construction of building that are increasing annually. In Surabaya has many developers who provide a space room therefore the competitive advantage for new building office today is the location of building and attractive building design. In addition, the office building must create its own character to supporting production activities or serviced owned by the company.

Tirtakencana Tatawarna building is an office building consisting of 21 floors and has a different architectural design or even only one in Surabaya. The structural system used is a dual system construction and frame structure. This building consist of two structure element, reinforced concrete and steel structures where the reinforced concrete are the main structure in this building. .

This dual system building construction calculation depends on the Earthquake Resistance Planning Standard for Building Construction SNI 03-1726-2012, the Concrete Structure Design Standard SNI 2847 2013, the Steel Structure Planning for Building Construction SNI 03-1729-2015. SAP 2000 has been selected to calculate the effect of dynamic earthquake load, specifically used in analysing the structure.

Keywords : Office building, Dual system, Architectural design

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan Rahmat, Rezeki dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir Terapan ini dengan baik. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat akademis untuk menyelesaikan Program Studi Diploma IV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sesuai dengan kurikulum yang berlaku.

Dengan selesainya Proposal Tugas akhir ini, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara kami yang selalu memberi dukungan baik moril maupun materiil.
2. Bapak Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing.
3. Seluruh dosen pengajar dan karyawan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi-ITS.
4. Seluruh rekan-rekan mahasiswa dari Program Studi Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan semua pihak yang telah membantu selama kami menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini.

Penyajian Tugas Akhir Terapan ini jauh dari sempurna karena masih banyak kekurangan baik materi dan pembahasan. Untuk itu kami mengharapkan adanya kritik maupun saran yang dapat menyempurnakan Tugas Akhir Terapan.

Akhir kata, kami berharap semoga Tugas Akhir Terapan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca sekalian.

Surabaya , Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Data Bangunan.....	6
2.1.1 Umum	6
2.1.2 Data Umum Bangunan	7
2.1.3 Data Bahan	7
2.1.4 Data Tanah.....	8
2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen.....	8
2.3 Struktur Dinding Geser	9
2.4 Sistem Struktur Ganda (<i>Dual System</i>)	10
2.5 Pemilihan Sistem Struktur	11
2.6 Hubungan Balok - Baja.....	11
BAB III METODOLOGI DESAIN.....	13
3.1 Metode Desain	13
3.2 Uraian Metode	13

3.2.1	Pengumpulan Data.....	13
3.2.2	<i>Preliminary Design</i> Beton	14
3.2.2.1	Pelat	14
3.2.2.2	Tangga	14
3.2.2.3	Balok.....	14
3.2.2.4	Kolom	15
3.2.2.5	Dinding Struktur	15
3.2.3	<i>Preliminari Design</i> Baja.....	15
3.2.3.1	Balok Baja	15
3.2.4	Analisis Pembebanan.....	15
3.2.4.1	Beban Mati	15
3.2.4.2	Beban Hidup.....	16
3.2.4.3	Beban Angin.....	16
3.2.4.4	Beban Gempa	21
3.2.5	Permodelan Struktur dan Analisa Gaya Dalam ...	25
3.2.6	Perhitungan Struktur Beton	26
3.2.6.1	Pelat	26
3.2.6.2	Balok.....	27
3.2.6.3	Kolom	32
3.2.6.4	Hubungan Balok Kolom.....	34
3.2.6.5	Dinding Struktur	36
3.2.6.6	Pondasi	38
3.2.7	Perhitungan Struktur Baja	42
3.2.7.1	Balok.....	42
3.2.7.2	Sambungan Baut.....	42
3.2.8	Persyaratan Struktur Beton.....	43

3.2.8.1	Balok.....	43
3.2.8.2	Kolom	43
3.2.8.3	Dinding Struktur Khusus	44
3.2.9	Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Baja.....	45
3.2.9.1	Lingkup Pekerjaan.....	45
3.2.9.2	Menentukan Alat Berat.....	45
3.2.9.3	Tahap Pelaksanaan	45
3.2.10	Gambar Rencana	46
3.2.11	Diagram Alir Perencanaan.....	47
BAB IV PERENCANAAN AWAL STRUKTUR.....		49
4.1	Umum	49
4.2	Perencanaan Dimensi Pelat.....	49
4.2.1	Pelat Lantai Struktur Utama	49
4.2.2	Pelat Lantai Struktur Sekunder.....	49
4.2.3	Pelat Lantai Atap	49
4.2.4	Pelat Lantai Lahan Parkir	49
4.2.5	Pelat Lantai Balkon (Lantai 3).....	49
4.3	Perencanaan Tangga	49
4.3.1	Tangga Darurat.....	49
4.4	Perencanaan Dimensi Balok	51
4.4.1	Balok.....	51
4.4.2	Perencanaan Balok Lift	52
4.4.3	Perencanaan Balok Baja	53
4.5	Perencanaan Dimensi Kolom.....	53
4.6	Perencanaan Dimensi Dinding Struktur.....	56
BAB V PERMODELAN STRUKTUR.....		57

5.1	Langkah – Langkah Permodelan	57
5.1.1	Data Masukan Grid.....	57
5.1.2	Data Masukan Material	57
5.1.3	Data Masukan Elemen Struktur.....	58
5.1.4	Besaran Massa	58
5.1.5	Permodelan 3D Struktur	60
5.2	Pembebanan Permodelan Struktur.....	60
5.2.1	Beban Gravitasi	60
5.2.2	Beban Gempa	60
5.2.3	Beban Angin.....	66
5.2.4	Kombinasi Pembebanan	69
5.3	Kontrol Desain Struktur.....	69
5.3.1	Kontrol Partisipasi Massa.....	69
5.3.2	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental	70
5.3.3	Kontrol Gaya Gempa Dasar Struktur	72
5.3.4	Kontrol Sistem Ganda (Dual System)	73
5.3.5	Kontrol Simpangan Antar Lantai (Drift)	75
BAB VI PERHITUNGAN STRUKTUR BETON SEKUNDER		77
6.1	Perhitungan Pelat	77
6.1.1	Pembagian Zona Pelat Lantai.....	77
6.1.2	Pembebanan Pelat Lantai.....	78
6.1.3	Perhitungan Penulangan Pelat	80
6.2	Perhitungan Tangga	93
6.2.1	Pembebanan Tangga dan Bordes.....	93
6.2.2	Perhitungan Gaya pada Tangga.....	93
6.2.3	Penulangan Pelat Tangga.....	97

6.3	Perhitungan Balok Lift.....	99
6.3.1	Data Lift.....	99
6.3.2	Pembebanan Balok Lift	101
6.3.2.1	Balok Penggantung Lift.....	101
6.3.2.2	Balok Penumpu Lift	102
6.3.3	Penulangan Balok Lift.....	103
6.3.3.1	Balok Penumpu Lift	103
6.3.3.2	Balok Penggantung Lift.....	104
BAB VII PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UTAMA ...		107
7.1	Balok Induk	107
7.1.1	Data Balok	107
7.1.2	Data Gaya	108
7.1.3	Perhitungan Tulangan Lentur	108
7.1.4	Perhitungan Tulangan Geser	113
7.1.5	Perhitungan Tulangan Torsi	116
7.1.6	Panjang Penyaluran Tulangan	118
7.1.7	Panjang Pemutusan Tulangan Lentur	118
7.1.8	Resume Penulangan.....	120
7.1.9	Kontrol Desain.....	120
7.2	Kolom	120
7.2.1	Data Kolom	121
7.2.2	Kontrol Awal Kolom.....	121
7.2.3	Penulangan Longitudinal	122
7.2.4	Kontrol Kapasitas Beban Aksial.....	122
7.2.5	Kontrol Persyaratan “ <i>Strong Column Weak Beam</i> ”	123

7.2.6	Gaya Geser Rencana.....	124
7.2.7	Pengekangan Kolom (<i>Confinement</i>).....	124
7.2.8	Panjang Sambungan Lewatan.....	126
7.3	Hubungan Balok Kolom	127
7.3.1	Data Gaya Dalam	127
7.3.2	Kontrol Kuat Geser Beton	128
7.4	Dinding Geser	128
7.4.1	Data Dinding Geser	128
7.4.2	Data Gaya Dalam	129
7.4.3	Kontrol Dimensi Terhadap Gaya Geser	129
7.4.4	Perencanaan Awal Kebutuhan Tulangan.....	129
7.4.5	Kontrol Kuat Geser Dinding.....	131
7.4.6	Pemeriksaan Kapasitas Dinding Geser Terhadap Aksial dan Momen.....	132
7.4.7	Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (<i>Spesial Boundary Element</i>)	132
7.4.8	Penentuan Panjang Elemen Batas Khusus.....	133
7.4.9	Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal Daerah <i>Spesial Boundary Element</i>	134
7.4.10	Panjang Penyaluran Tulangan	135
7.4.11	Desain Dinding.....	136
BAB VIII PERHITUNGAN STRUKTUR BAJA.....		137
8.1	Balok Induk I	137
8.1.1	Data Balok	137
8.1.2	Data Gaya Dalam	137
8.1.3	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal.....	138

8.1.4	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral....	139
8.1.5	Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser	139
8.2	Balok Induk II.....	140
8.2.1	Data Balok	140
8.2.2	Data Gaya Dalam	140
8.2.3	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal.....	141
8.2.4	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral....	142
8.2.5	Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser	143
8.3	Balok Anak I.....	144
8.3.1	Data Balok	144
8.3.2	Data Gaya Dalam	144
8.3.3	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal.....	145
8.3.4	Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral....	146
8.3.5	Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser	147
8.4	Perencanaan Sambungan	147
8.4.1	Sambungan Balok Anak Baja dengan Balok Induk Baja II	147
8.4.2	Sambungan Balok Induk Baja II dengan Balok Induk Baja I.....	149
8.4.3	Sambungan Angkur Beton Balok Induk Baja I dengan Kolom Beton	152
8.4.4	Sambungan Angkur Beton Balok Induk Baja II dengan Kolom Beton	155
8.4.5	Sambungan Angkur Beton Balok Anak Baja dengan Balok Induk Beton.....	159
BAB IX PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH		163
9.1	Umum	163

9.2	Perencanaan Tiang Pancang	163
9.3	Daya Dukung Tiang Pancang	163
9.3.1	Daya dukung tanah tiang pancang tunggal	164
9.3.2	Daya dukung tiang pancang berkelompok	165
9.4	Perencanaan <i>Pilecap</i>	167
9.4.1	Data Perencanaan	167
9.4.2	Penulangan Lentur	168
9.4.3	Kontrol Geser	171
9.5	Penulangan Sloof	174
9.5.1	Data Sloof	174
9.5.2	Data Gaya	174
9.5.3	Perhitungan Tulangan Lentur	175
9.5.4	Perhitungan Tulangan Geser	175
BAB X METODE PELAKSANAAN BALOK BAJA		177
10.1	Persiapan	177
10.1.1	Alat yang digunakan	177
10.1.2	Gambar Kerja	179
10.2	Fabrikasi	179
10.3	Pemasangan	180
BAB XI KESIMPULAN		183
11.1	Kesimpulan	183
11.2	Saran	184
DAFTAR PUSTAKA		185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fasad Bangunan	6
Gambar 2.2 Contoh denah perbedaan sudut rotasi tiap lantai.....	7
Gambar 2.3 Simpangan yang terjadi pada struktur rangka	8
Gambar 2.4 Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda	11
Gambar 2.5 Bagian - bagian dalam hubungan beton - baja dengan angkur	12
Gambar 3.1 Perencanaan anak tangga	14
Gambar 3.2 Kecepatan angin khusus daerah Surabaya	18
Gambar 3.3 Koefisien tekanan eksternal	20
Gambar 3.4 Parameter S_s untuk kota Surabaya dan sekitarnya..	22
Gambar 3.5 Parameter S_1 untuk kota Surabaya	23
Gambar 3.6 Rumus desain respon spektrum.....	24
Gambar 3.7 Web puskim untuk desain respon spektrum	25
Gambar 3.8 Desain geser balok	30
Gambar 3.9 Syarat hubungan balok - kolom	35
Gambar 3.10 Kondisi kritis pile terhadap muka kolom	39
Gambar 3.11 Kondisi kritis kolom untuk jarak interpolasi.....	40
Gambar 3.12 Ketentuan dimensi balok	43
Gambar 4.1 Area pembebanan kolom.....	53
Gambar 5.1 Tampilan ukuran grid SAP.....	56
Gambar 5.2 Input data karakteristik material.....	57
Gambar 5.3 Input form mass source SAP 2000 v14.....	58
Gambar 5.4 Permodelan 3D struktur gedung	59
Gambar 5.5 Grafik respon spektrum perhitungan manual	62
Gambar 5.6 Grafik respon spektrum berdasarkan data PUSKIM62	
Gambar 5.7 Grafik respon spektrum di SAP 2000	63
Gambar 5.8 Arah permodelan gempa X dan Y	64
Gambar 5.9 Input analisa modal SAP	65
Gambar 5.10 Pembebanan angin pada permodelan struktur.....	67
Gambar 5.11 Kombinasi pembebanan dalam SAP 2000	68
Gambar 5.12 Contoh simpangan yang terjadi lantai 10	75

Gambar 6.1	Zona pembagian pelat lantai	77
Gambar 6.2	Contoh input beban pelat lantai	80
Gambar 6.3	Pelat parkir	84
Gambar 6.4	Permodelan struktur tangga darurat	94
Gambar 6.5	Diagram gaya dalam tangga	97
Gambar 6.6	Denah lift	100
Gambar 6.7	Potongan melintang lift	101
Gambar 6.8	Permodelan struktur balok lift	102
Gambar 7.1	Diagram interaksi aksial dan momen kolom dengan PCACOL	122
Gambar 7.2	Kapasitas kolom berdasarkan PCACOL	123
Gambar 7.3	Desain dinding geser	129
Gambar 7.4	Detail perencanaan tulangan longitudinal dinding	131
Gambar 7.5	Diagram interaksi dinding geser	132
Gambar 7.6	Detail penulangan dinding	136
Gambar 8.1	Reaksi angkur terhadap momen balok baja I	154
Gambar 8.2	Reaksi angkur terhadap momen balok baja II	157
Gambar 8.3	Detail sambungan angkur balok H250.125.6.9	162
Gambar 9.1	Konfigurasi tiang pancang	165
Gambar 9.2	Kontrol geser pile cap satu arah	171
Gambar 9.3	Kontrol geser pile cap dua arah	172
Gambar 9.4	Diagram interaksi sloof	175
Gambar 10.1	Contoh spesifikasi tower crane	177
Gambar 10.2	Denah letak tower crane	178
Gambar 10.3	Pengukuran ulangan dimensi balok baja	180
Gambar 10.4	Pemasangan balok baja	181
Gambar 10.5	Proses pengencangan baut manual	182

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kategori resiko bangunan	17
Tabel 3.2 Koefisien eksposur tanah	19
Tabel 3.3 Klasikasi situs	22
Tabel 4.1 Perencanaan awal dimensi balok induk beton	52
Tabel 4.2 Pembebanan kolom	55
Tabel 5.1 Data tanah berdasarkan nilai N-SPT	61
Tabel 5.2 Koefisien situs, F_a	62
Tabel 5.3 Koefisien situs, F_v	62
Tabel 5.4 Perhitungan beban angin tiap lantai	68
Tabel 5.5 Rasio partisipasi massa	70
Tabel 5.6 Nilai parameter periode pendekatan	71
Tabel 5.7 Koefisien batas atas pada periode	71
Tabel 5.8 <i>Modal load participation ratio</i>	71
Tabel 5.9 Periode waktu fundamental struktur	71
Tabel 5.10 Gaya geser total gedung terhadap gaya gempa	73
Tabel 5.11 Gaya geser yang diterima dinding	74
Tabel 5.12 Prosentase rangka & dinding menahan gaya gempa	74
Tabel 5.13 Kontrol simpangan antar lantai (<i>drift</i>)	76
Tabel 6.1 Penulangan <i>regular slab</i>	83
Tabel 7.1 Penulangan kolom bulat	131
Tabel 9.1 Beban rencana struktur pondasi	166
Tabel 9.2 Konfigurasi jarak tiang pancang	167

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Industri dan perekonomian di Surabaya dewasa ini menunjukkan angka yang sangat besar, hal itu ditandai dengan pembangunan gedung yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan pembangunan gedung terjadi karena meningkatnya permintaan konsumen. Gedung yang merupakan milik PT. Tirta Kencana Tata Warna ini berlokasi di Dukuh Menanggal, Surabaya. Selain digunakan untuk pihak pemilik gedung sebagai pusat perkantoran yang ada di Jawa Timur, pemilik juga menyewakan ruang kantor kepada para pebisnis yang membutuhkan ruang kantor. Di Surabaya telah banyak pihak – pihak pengembang yang menyediakan ruang sehingga yang menjadi daya saing bagi gedung – gedung baru adalah lokasi dan desain yang menarik . Disamping itu gedung perkantoran harus menciptakan karakter tersendiri sebagai penunjang kegiatan produksi atau jasa yang dimiliki perusahaan tersebut. Gedung ini akan menjadi salah satu gedung anti *mainstream* dan memiliki desain arsitektual yang berbeda atau bahkan hanya ada satu di Surabaya. Dengan adanya gedung perkantoran yang arsitektual akan menjadi nilai tambah bagi penyewa atau pembeli gedung ataupun ruangan perkantoran tersebut.

Saat ini proyek gedung sedang dilakukan tahap *finishing* dimana tahap pekerjaan struktur telah selesai dikerjakan, artinya pekerjaan *finishing* dan struktur tidak dilaksanakan bersamaan. Jumlah lantai pada gedung ini adalah 20 lantai dan 1 lantai helipad namun untuk kebutuhan tugas akhir hanya akan direncanakan ulang 20 lantai tanpa helipad. Sistem struktur yang digunakan adalah dual system yang terdiri dari struktur rangka pemikul momen dan struktur dinding geser. Selain itu elemen struktur menggunakan struktur komposit yang

diterapkan pada pelat dan balok baja. Oleh karena itu tugas akhir yang saya buat lebih menekankan kepada perhitungan struktur *dual system* dan struktur balok baja pada desain struktur gedung Tirtakencana Tatawarna Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mendesain dan menghitung struktur bangunan menggunakan *dual system* ?
2. Apa saja tahap perhitungan struktur bangunan dengan menggunakan *dual system* ?
3. Bagaimana tahap perhitungan elemen struktur balok komposit ?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui perhitungan struktur gedung menggunakan *dual system*
2. Mengetahui tahap perhitungan struktur gedung yang menggunakan *dual system*
3. Mengetahui tahap perhitungan elemen struktur balok baja yaitu sambungan baut , angkur dan kapasitas struktur.

1.4 Manfaat

Proposal tugas akhir perencanaan dan perhitungan struktur gedung Tirtakencana Tatawarna bisa menjadi bahan evaluasi bagi pemilik dan pelaksana.

1.5 Batasan Masalah

1. Desain dan perhitungan struktur meliputi :
 - a. Pondasi
 - Desain Pondasi Kolom
 - Desain Pile Cap Kolom
 - b. Balok
 - Balok beton bertulang
 - Balok baja

- c. Dinding geser / Sherwall
Perhitungan tulangan utama dan geser pada dinding struktur
 - d. Kolom
 - e. Sambungan baut dan angkur pada balok baja
 - f. Perhitungan tulangan *pile cap* dan sloof
 - g. Perhitungan tulangan tangga darurat gedung
2. Tidak menghitung elemen struktur komposit yang ada pada bangunan
 3. Metode pelaksanaan pekerjaan pemasangan balok baja.
 4. Desain tidak meninjau anggaran biaya pelaksanaan dan waktu pekerjaan.
 5. Tidak memperhitungkan analisa dampak lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan desain struktur gedung ini merujuk pada beberapa tata cara desain bangunan dan juga pada beberapa referensi khusus yang lazim digunakan. Beberapa peraturan tersebut adalah :

1. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013),
2. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
3. Spesifikasi untuk Bangunan Baja Gedung Struktural (SNI 1729-2015),
4. Tata Cara Desain Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012),
5. Building code requirements for structural concrete and commentary(ACI 318M-05),
6. Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi – Wolfgang Schueller
7. Disain Beton Bertulang – Chu-Kia Wang & Charles G. Salmon (Edisi Keempat)

2.1 Data Bangunan

2.1.1 Umum

Pada dasarnya desain bangunan gedung adalah menciptakan sebuah bangunan yang memiliki estetika, kokoh dan hemat biaya dalam pelaksanaan. Namun pada kenyataannya penyatuan ketiga unsur tersebut sangat sulit dikombinasikan karena

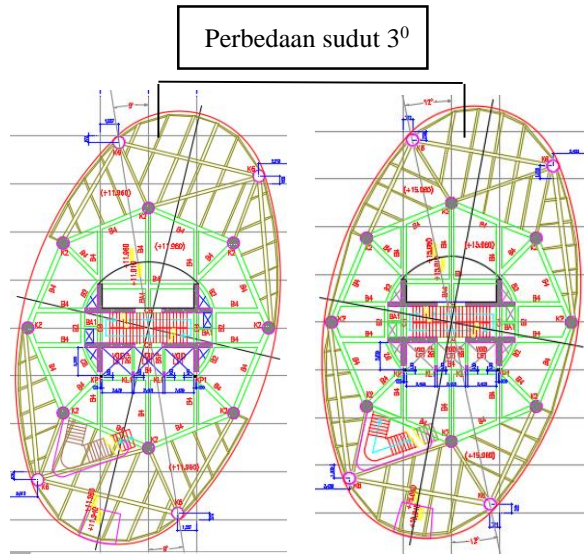


Gambar 2.1 Fasad Bangunan

terdapat beberapa faktor seperti cuaca, kondisi lingkungan sekitar, bahan material, pengalaman kerja pelaksana dan sebagainya. Meski demikian faktor – faktor yang mempengaruhi tersebut diatas tidak mengurangi unsur- unsur struktur yang terdapat pada peraturan.

Desain gedung milik PT. Tirta Kencana Tatawarna ini merupakan gedung yang memiliki estetika / desain arsitektural yang indah karena bentuk gedung yang menyerupai angin tornado. Terlihat sekilas gedung ini terlihat miring karena bentuknya yang tidak simetris dan terlihat jelas terdapat beberapa kolom yang tidak tegak akan tetapi melengkung mengikuti perputaran sudut antar lantai.

Konsep desain gedung melengkung ini adalah perputaran sudut setiap lantainya. Artinya setiap kenaikan satu lantai diatasnya, akan di rotasi ke arah kiri / berlawanan arah jarum jam sebesar 3^0 seperti contoh denah lantai 4 dan 5 pada gambar 2. Setiap lantai memiliki luasan area yang sama dan tinggi antar lantai yang juga sama.



Gambar 2.2 Contoh denah perbedaan sudut rotasi tiap lantai

2.1.2 Data Umum Bangunan

Berikut data umum bangunan yang telah terbangun :

1. Nama : Kantor PT. Tirtakencana Tatawarna
2. Pemilik Gedung : PT. Tirtakencana Tatawarna
3. Fungsi Gedung : Gedung Perkantoran
4. Lokasi Gedung : Jl. Ahmad Yani No. 317 Surabaya
5. Tinggi Gedung : 84 m
6. Jumlah lantai : 20 lantai , helipad , dan semi basement.

Data bangunan yang akan direncanakan

1. Tinggi Gedung : 84 m
2. Jumlah Lantai : 20 lantai dan semi basement

2.1.3 Data Bahan

Berikut data bahan yang akan digunakan dalam perencanaan strukur

a. Struktur Utama

1. Mutu Beton (f_c') : 35 MPa (Dinding)
: 30 MPa (Balok, Kolom)
2. Mutu Baja (f_y) : 250 MPa (struktur baja)
: 400 MPa (tulangan utama)
: 240 MPa (senggang balok)
: 400 MPa (spiral kolom)

b. Struktur Sekunder

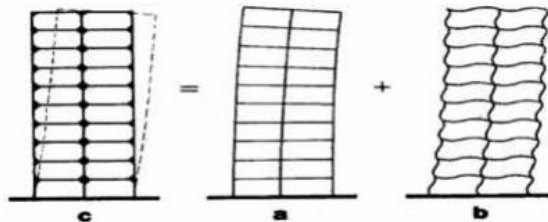
1. Mutu Beton (f_c') : 30 MPa
2. Mutu Baja (f_y) : 240 MPa

2.1.4 Data Tanah

Data tanah berupa data SPT yang didapatkan dari laboratorium mekanika tanah Program Studi Teknik Sipil ITS yang akan digunakan untuk perencanaan pondasi yang mendekati daerah gedung.

2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

Struktur rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur berupa portal / rangka yang terdiri dari balok dan kolom yang bekerja secara bersama untuk menahan beban – beban yang terjadi pada bangunan. Pada dasarnya SRPMK memiliki konsep desain “strong column weak beam” yang berarti keruntuhan yang diperbolehkan terjadi terlebih dahulu adalah balok kemudian kolom.



Gambar 2.3 Simpangan yang terjadi pada struktur rangka

Sumber : Schueller (1989)

Sesuai dengan namanya elemen struktur balok dan kolom di desain untuk memikul momen yang terjadi. Hubungan balok

kolom juga perlu dirancang khusus karena join tersebut juga merupakan elemen struktur yang menerima gaya setelah balok.

Struktur rangka pemikul momen dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Pada tugas akhir ini gedung di desain menggunakan SRPMK yang merupakan sistem struktur yang dirancang untuk dapat menahan gaya gempa.

2.3 Struktur Dinding Geser

Sistem dinding struktur adalah sistem struktur yang mengandalkan kekuatan dinding struktur beton yang di desain mampu menahan gaya aksial , geser , dan momen. Dinding struktur memiliki sifat hampir sama dengan kolom dengan perbandingan panjang dan lebar yang lebih besar pada dinding. Selain itu dinding struktur juga lebih kuat terhadap gaya geser sehingga pada dunia konstruksi biasa disebut *shearwall*.

Konstruksi bangunan tinggi tahan gempa membutuhkan struktur yang mampu menahan gaya lateral akibat gempa. Oleh karena itu dibutuhkan suatu elemen struktur yang bersifat kaku dan kuat terhadap gaya lateral. Kekakuan dinding geser merupakan kunci utama kekuatan dari struktur.

Dinding geser merupakan struktur vertikal yang memiliki bentuk bermacam – macam dan fungsi yang berbeda bergantung pada kebutuhan dan desain bangunan karena pada dasarnya dinding geser akan mengikuti bentuk bangunan. Dinding geser dibagi menjadi tiga bagian yang dibedakan berdasarkan fungsinya yaitu :

- a. Bearing Walls

Dinding geser yang memiliki fungsi untuk menahan beban gravitasi.

- b. Frame Walls

Dinding geser yang berfungsi menahan gaya lateral , geser dan beban gravitasi yang letaknya berdampingan dengan rangka bangunan seperti balok dan kolom.

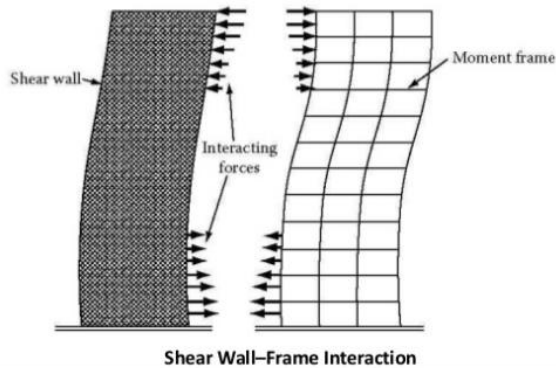
c. Core Walls

Dinding geser yang berada pada inti / pusat bangunan. Fungsi bangunan ini selain menahan gaya lateral , geser dan gravitasi adalah menjadi tempat bagi utilitas bangunan seperti lift maupun pelengkapannya yaitu tangga sebagai tumpuan.

2.4 Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) dan dinding geser memiliki karakteristik struktur yang berbeda. Semakin tinggi suatu gedung tentu meningkatkan simpangan yang lebih besar pula akibat gaya lateral yang diterima apabila menggunakan sistem rangka pemikul momen. Simpangan yang lebih besar dari yang biasanya mengakibatkan besarnya dimensi rangka seperti balok dan kolom atau kebutuhan tulangan yang semakin banyak.

Oleh karena itu dibutuhkan sistem dinding struktur yang memiliki kapasitas mereduksi menahan gaya geser yang terjadi. Dengan adanya interaksi antara rangka dan dinding ini akan memungkinkan terjadinya kerjasama untuk menahan gaya lateral dan gaya gravitasi sehingga simpangan yang terjadi tidak terlalu besar. Pada struktur ini, rangka dan dinding struktur dihubungkan secara kaku agar dapat maksimal dalam menahan gaya yang terjadi.



Gambar 2.4 Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda

Sumber : Naveed Anwar

2.5 Pemilihan Sistem Struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal harus memenuhi syarat – syarat yang diatur dalam tabel 9 SNI 1729 2012 tentang aturan bangunan tahan gempa. Di dalam tabel terdapat batasan ketinggian yang digunakan suatu sistem struktur, koefisien modifikasi respons yang sesuai (R), faktor kuat lebih sistem (Ω), dan koefisien amplifikasi defleksi (C_d). Dalam memilih suatu sistem struktur bangunan yang akan digunakan, bisa menggunakan kaidah batasan ketinggian pada tabel 9.

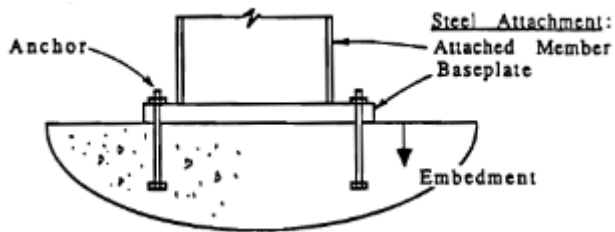
Pemilihan sistem struktur juga bisa dilihat dari kategori desain seismik bangunan tersebut. Kategori desain seismik dipengaruhi oleh situs tanah dimana bangunan tersebut berada. Semakin lunak suatu tanah maka persyaratan teknis sistem struktur semakin tinggi pula.

2.6 Hubungan Balok - Baja

Desain hubungan beton dan baja pada struktur bisa terjadi apabila elemen struktur pada suatu gedung merupakan kombinasi dari beberapa elemen struktur. Gedung yang akan

dibahas berikut menjadi salah satu contohnya, dimana terdapat salah satu balok baja yang dihubungkan dengan balok beton. Kedua elemen didesain menggunakan angkur sebagai penghubung dititik pertemuan sehingga keduanya memiliki sifat yang kaku.

Untuk menentukan kekuatan nominal dari hubungan beton dan baja terdapat dua unsur perhitungan sebagai syarat kekuatan hubungan yaitu kekuatan angkur dan kekuatan beton yang menahan angkur (*embedment*).



Gambar 2.5 Bagian - bagian dalam hubungan beton - baja dengan angkur

BAB III

METODOLOGI DESAIN

Langkah – langkah yang digunakan dalam mendesain struktur bangunan PT. Tirtakencana Tatawarna adalah sebagai berikut :

3.1 Metode Desain

1. Pengumpulan data
2. *Preliminary design* beton
3. *Preliminary design* baja
4. Analisis pembebanan
 - a. Beban – beban
 - b. Kombinasi pembebanan
5. Permodelan struktur
6. Analisa gaya dalam
7. Perhitungan struktur beton
8. Perhitungan struktur baja
9. Persyaratan desain struktur
10. Gambar Rencana

3.2 Uraian Metode

3.2.1 Pengumpulan Data

1. Data Primer

Melakukan studi di lapangan dan mengambil foto kondisi eksisting bangunan.
2. Data Sekunder
 - a. Gambar rencana bangunan
 - b. Data tanah
 - c. Peraturan – peraturan yang mengatur tentang kontruksi gedung , buku penunjang , dan literatur online sebagai dasar teori.

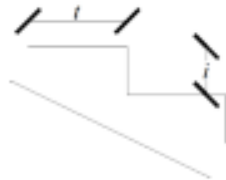
3.2.2 Preliminary Design Beton

3.2.2.1 Pelat

Perencanaan pelat berikut adalah pendekatan mendasar untuk pelat yang berbentuk persegi maupun persegi panjang. Untuk perencanaan tebal pelat yang memiliki bentuk tumpuan tidak persegi atau persegi panjang maka perencanaan awal dimensi hanya menggunakan metode *trial and error*.

3.2.2.2 Tangga

Untuk merencanakan anak tangga menggunakan persamaan berikut dengan melakukan rencana terlebih dahulu panjang optrede (i) atau antrede (t):



Gambar 3.1 Perencanaan anak tangga

$$60 < 2.t + i < 65, \text{ dan} \\ 25^0 < \alpha < 40^0$$

Dimana,

t = tinggi injakan (optrede)

i = lebar injakan (antrede)

$$\alpha = \sum t / \sum i$$

3.2.2.3 Balok

Penentuan tinggi balok minimum (h_{min}) dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Ps. 9.5.2.1* (tabel 9.5(a)). Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung) $H_{min} = (1/16)L$, L untuk panjang

bentang balok. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

3.2.2.4 Kolom

Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban semua lantai. Namun untuk perencanaan khusus SRPMK kekuatan kolom harus lebih kuat dari balok, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{E c_{kolom} I_{kolom}}{h_{kolom}} \geq \frac{E c_{balok} I_{balok}}{l_{balok}}$$

3.2.2.5 Dinding Struktur

Berdasarkan *SNI 2847 2013 Ps. 14.3.5.1*
tebal dinding struktur minimum $\frac{1}{25} h$

3.2.3 Preliminari Design Baja

3.2.3.1 Balok Baja

Penentuan awal dimensi balok baja adalah dengan metode *trial n error*

3.2.4 Analisis Pembebanan

Beban yang terjadi pada bangunan harus ditinjau dan diperhitungkan sedetail mungkin agar bangunan tidak mengalami keruntuhan atau *overload*.

3.2.4.1 Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah beban yang memiliki besar yang konstan dan terdapat pada satu posisi tertentu. Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur yang sedang ditinjau dan unsur – unsur tambahan lain atau peralatan tetap yang tidak terpisahkan dengan gedung.

Berdasarkan (*PPIUG 1983 Tabel 2.1*) bangunan gedung diperhitungkan untuk memikul beban-beban sebagai berikut :

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 Kg/m³
- Berat baja : 7800 Kg/m³
- Adukan finishing lantai/1 cm : 21 Kg/m²

- Tegel	:24	Kg/m ²
- Plafond	:11	Kg/m ² .
- Penggantung plafon	:7	Kg/m ² .
- Ducting Plumbing	:40	Kg/m ² .
- Sanitasi	:20	Kg/m ²

3.2.4.2 Beban Hidup

Seluruh beban yang terjadi akibat penggunaan suatu gedung yang didalamnya terdapat benda – benda yang dapat dipindah , mesin – mesin yang merupakan bagian yang terpisahkan dari struktur. Beban hidup setiap gedung atau bahkan ruangan berbeda – beda bergantung pada aktifitas yang ada pada ruangan tersebut karena pada dasarnya beban hidup tidak konstan dan bisa berubah – ubah selama umur gedung tersebut. Namun perubahan beban hidup harus dibatasi oleh fungsi utama ruangan yang telah didesain dan tidak boleh melebihi kapasitas desain.

3.2.4.3 Beban Angin

Prosedur perencanaan beban angin untuk bangunan dari semua ketinggian dilakukan berdasarkan SNI 1727 – 2013 dimana perencanaan menggunakan prosedur bagian 1 yaitu bangunan gedung dari semua ketinggian dimana perlu untuk memisahkan beban angin yang diterapkan ke dinding di sisi datang, disisi angin pergi dan sisi bangunan gedung untuk gaya-gaya internal dalam komponen struktur SPBAU.

Langkah – langkah dalam menentukan beban angin adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kategori resiko bangunan gedung seperti yang tercantum pada *SNI 1727-2013 tabel 1.5.1* berikut :

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.	
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis ² .	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.	

Tabel 3.1 Kategori resiko bangunan

Berdasarkan persyaratan kategori dari tabel, gedung ini merupakan kategori resiko II.

2. Menentukan kecepatan angin dasar, V.
- Penentuan kecepatan angin ini menggunakan data dari <http://www.bmkg.go.id>

Surabaya (Kota Surabaya)



Gambar 3.2 Kecepatan angin khusus daerah Surabaya

3. Menentukan parameter beban angin berdasarkan SNI 1727-2013 diantaranya :
 - Faktor arah angin, K_d berdasarkan Ps. 26.6
 - Kategori eksposur berdasarkan Ps. 26.7
 - Faktor topografi, K_{zt} berdasarkan Ps. 26.8
 - Faktor efek tiupan angin berdasarkan Ps. 26.9
 - Klasifikasi ketertutupan berdasarkan Ps. 26.10
 - Koefisien tekanan internal GC_{pi} berdasarkan Ps. 26.11
4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

Catatan:

1. Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:

Untuk $15 \text{ ft} \leq z \leq z_g$ Untuk $z < 15 \text{ ft}$.

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2\alpha} \quad K_z = 2,01(15/z_g)^{2\alpha}$$

2. α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.9.1.

3. Interpolasi linier untuk nilai menengah tinggi z yang sesuai.

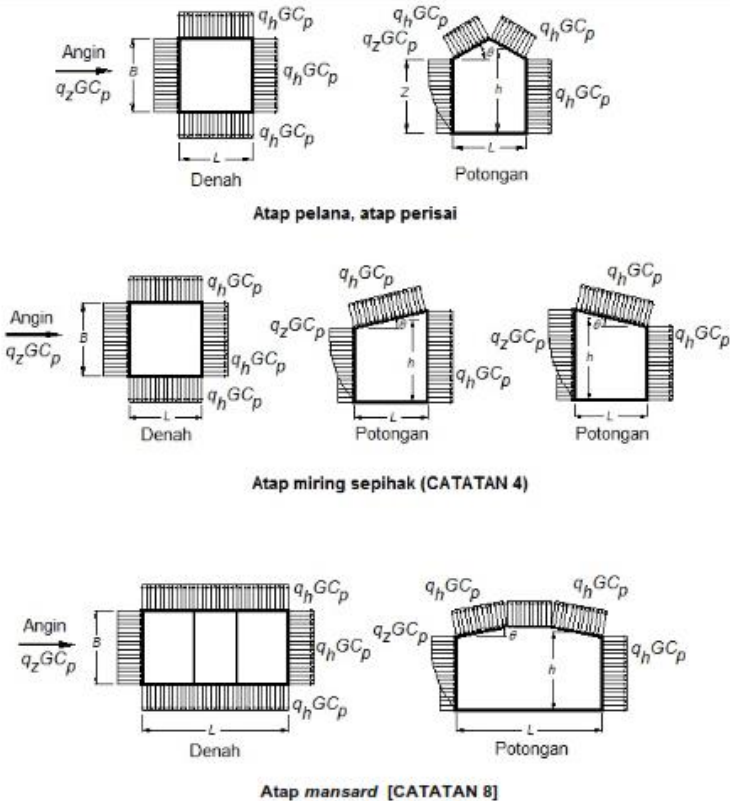
4. Kategori eksposur yang ditetapkan dalam Pasal 26.7

Tabel 3.2 Koefisien eksposur tanah

5. Menentukan tekanan velositas q , atau q_h berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$qz = 0,613k_zk_{zt}k_dV^2 ; V \text{ dalam m/s} \\ (SNI 1727 2013 Ps.27.3.2)$$

6. Menentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_N berdasarkan gambar berikut :



Gambar 3.3 Koefisien tekanan eksternal

7. Menghitung tekanan angin p , pada setiap permukaan bangunan gedung berdasarkan persamaan berikut :

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi}) (N/m^2)$$

(SNI 1727 2013 Ps.27.4.1)

Dimana :

q = q_z untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada

	ketinggian z diatas permukaan tanah
q	= q_h untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping , dan atap
q_i	= q_z untuk dinding di sisi angin datang, untuk mengevaluasi
q_i	= tekanan internal negatif q_h untuk dinding sisi angin pergi , untuk mengevaluasi tekanan
G	= internal positif
C_p	= faktor efek tiupan angin,
(G_{cpi})	= koefisien tekanan eksternal koefisien tekanan internal

3.2.4.4 Beban Gempa

Beban lateral yang disebabkan oleh gempa di setiap tempat berbeda-beda yang bergantung pada beberapa faktor diantaranya adalah faktor keutamaan bangunan, kondisi tanah ,percepatan perambatan tanah, dan sistem struktur yang digunakan. Perencanaan beban gempa di Indonesia diatur dalam SNI 1726 2012. Peraturan memuat ketentuan – ketentuan koefisien yang telah ditetapkan.

a. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko

Kategori resiko sebuah bangunan dilihat dari fungsional dari bangunan itu sendiri. Kebutuhan keamanan struktur terhadap gaya gempa setiap fungsi bangunan akan berbeda.

b. Klasifikasi Jenis Tanah

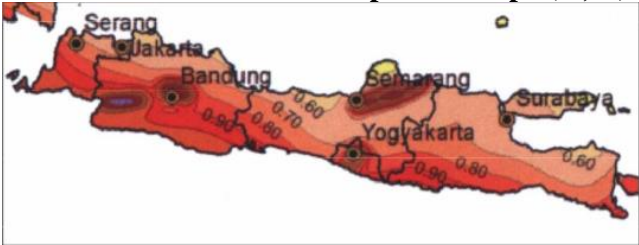
Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran

percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<div>< 175</div> <div>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristisk sebagai berikut :</div> <div>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,</div> <div>2. Kadar air, $w \geq 40\%$,</div> <div>3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa</div>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	<div>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristisk berikut:</div> <div>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</div> <div>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)</div> <div>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)</div> <div>- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa</div>		

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

c. Parameter Percepatan Gempa (S_s, S_1)



Gambar 3.4 Parameter Ss untuk kota Surabaya dan sekitarnya



Gambar 3.5 Parameter S_1 untuk kota Surabaya dan sekitarnya

d. Koefisien Situs

Koefisien ini untuk menentukan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah. Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik yang getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_s).

e. Desain Respons Spektrum

Desain respons spektrum terlebih dahulu dihitung secara manual melalui tahapan – tahapan seperti yang terdapat dalam bab sebelumnya kemudian hasil grafik dibandingkan dengan yang terdapat dalam perhitungan otomatis yang terdapat dalam web PUSKIM. Perbandingan tersebut untuk meneliti hasil desain spektrum masing – masing.

- Perhitungan Manual

$$1. S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

(SNI 1726 2012 Ps.6.4 No.1)

$$2. S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

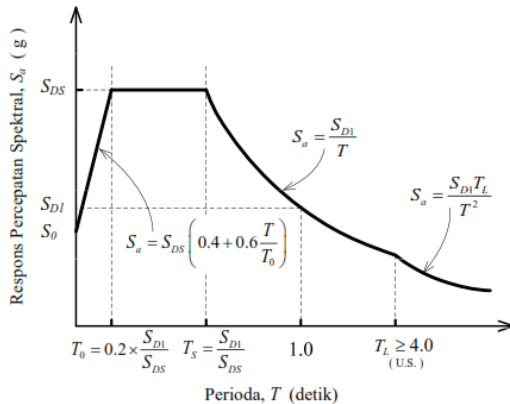
(SNI 1726 2012 Ps.6.4 No.3)

$$3. T_a = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

(SNI 1727 2013 Ps.6.4 No.3)

$$4. T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

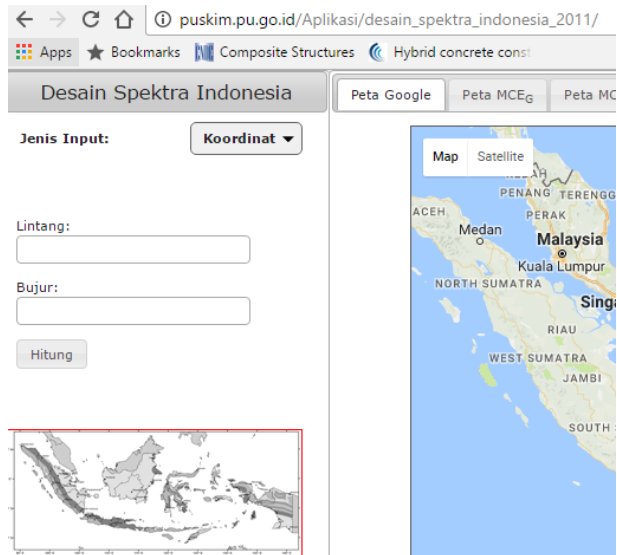
(SNI 1727 2013 Ps.6.4 No.3)



Gambar 3.6 Rumus Desain Respon Spektrum

- Berdasarkan Perhitungan PUSKIM

Pusat penelitian dan pengembangan permukiman memudahkan bagi perencana bangunan di berbagai wilayah Indonesia dengan membuat suatu aplikasi perhitungan desain spektra yang juga mengacu pada SNI 1726:2012. Alamat web adalah <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain-spektra-indonesia-2011/>.



Gambar 3.7 Web puskim untuk desain respon spektrum

Perbedaan aplikasi yang harus diakses menggunakan internet ini adalah terletak pada ketelitian pemilihan koefisien situs zonasi gempa. Keakuratan pemilihan koefisien wilayah menjadi kelebihan dari aplikasi ini. Input data yang dibutuhkan adalah koordinat lokasi rencana bangunan dan jenis tanah. Output dari aplikasi web ini adalah berupa grafik respon spektrum lengkap dengan tabel.

3.2.5 Permodelan Struktur dan Analisa Gaya Dalam

Permodelan struktur gedung ini menggunakan program komputer SAP 2000 versi 14.

Analisa gaya dalam dari permodelan struktur gedung ini adalah berupa *output* perhitungan otomatis dari program SAP. Gaya – gaya dalam adalah berupa bidang

momen , geser , aksial dan torsi yang berasal dari kombinasi pembebanan yang menghasilkan gaya dalam maksimum.

3.2.6 Perhitungan Struktur Beton

3.2.6.1 Pelat

1. Menentukan data-data d , f_y , f'_c , dan M_u
2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

(SNI 2847 2013 Ps.10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :
 - a. Tulangan Utama

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0.025$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

- b. Tulangan Susut

Digunakan untuk tipe pelat satu arah dengan mengacu pada SNI 2847 2013 Ps. 7.12.2.1 yang dibedakan menurut mutu tulangan ulir yang digunakan sebagai tulangan pelat :

- Mutu 280 atau 350 MPa memiliki $\rho = 0,002$
- Mutu 420 MPa memiliki $\rho = 0,0018$
- Mutu lebih 420 MPa memiliki $\rho = \frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

Untuk mutu dengan nilai tertentu bisa menggunakan interpolasi dari batas ketentuan yang ada.

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

5. Menentukan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mxRn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

Dimana :

7. Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$As = \rho x b x d \quad \rho = \frac{As}{b x d}$$

8. Menentukan spasi maksimum antar tulangan
 $S < 450 \text{ mm}$

$$S < 3 \times h$$

9. Jumlah tulangan tiap meter (n) = Asperlu / As tulangan

10. Jarak tulangan (s) = 1000/n

3.2.6.2 Balok

- Perhitungan Tulangan Lentur

1. Menentukan data-data d , f_y , f_c' , dan M_u
2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f_c' - 28)}{7}$$

(SNI 2847 2013 Ps.10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0.025$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

5. Menentukan

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmR_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

Dimana :

7. Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$A_s = \rho b x d \quad \rho = \frac{A_s}{b x d}$$

8. Kontrol tulangan

$$\text{- Jarak} = \frac{bw - 2sk - 2 \text{ sel.} - (n \times \text{dia tul.})}{(n-1)} > 25$$

$$\text{- } a = (A_{s\text{aktual}} \cdot f_y) / (0,85 \cdot f'_c \cdot d)$$

$$- \phi M_n = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$- \text{Cek } \phi M_n > M_u$$

- Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser yang dipengaruhi beban gempa dihitung dari kapasitas balok memikul momen probable. Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3 : gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maximum M_{pr} , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani penuh beban gravitasi terfaktor serta V_e harus dicari dari nilai terbesar akibat beban gempa arah ke kanan dan ke kiri.

Besarnya momen probable dipengaruhi oleh disain kemampuan tulangan lenturnya. Harga momen probable dapat dicari dengan rumus berikut :

$$a = \frac{A_s \times (1,25 \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$M_{pr} = A_s (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

a. Penulangan geser daerah sendi plastis (tumpuan)

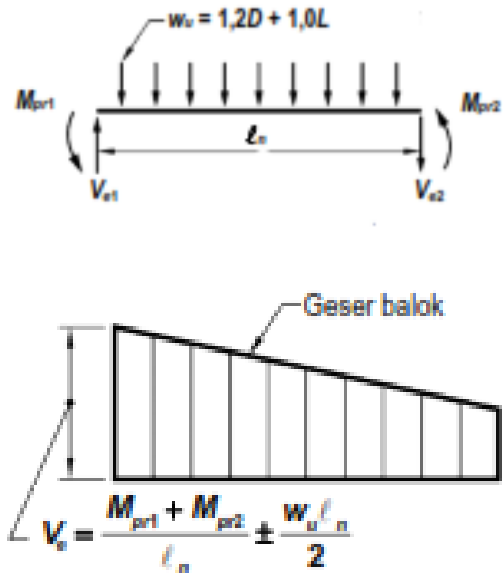
1. Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, bila:

- Gaya geser akibat gempa (M_{pr}) $> 0,5$ x total geser akibat kombinasi gempa dan beban gravitasi.

$$V_{sway} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} > 0,5 V_{(1,2D + 1L)}$$

- Gaya tekan aksial $< \frac{A_g \cdot f_c}{20}$
(SNI 2847 2013 Ps.21.5.4.2)

2. Mencari kebutuhan sengkang



Gambar 3.8 Desain geser balok

$$V_u = V_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{\ell_n} + \frac{w_u \ell_n}{2}$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.6.2.2)

Mencari jarak sengkang

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

Kontrol

- $V_{smax} = 2/3 \cdot \sqrt{f_c}$ bw $d > V_s$
- Jarak sengkang maksimum sebagai berikut :

1. $d/4$
2. $6d_{tul. \text{ lentur}}$
3. 150 mm

(SNI 2847 2013 Ps.21.5.3.2)

Tulangan geser di daerah sendi plastis dipasang maksimal 50 mm dari muka tumpuan dan dipasang dengan jarak $2h$.

b. Penulangan geser di luar sendi plastis

Tahapan penulangan geser di luar sendi plastis bergantung pada diagram gaya geser akibat gempa dan gravitasi. Jarak pemasangan tulangan geser dari tumpuan mempengaruhi V_u yang akan digunakan untuk mencari tulangan sengkang.

- **Pemutusan Tulangan Lentur**

Tulangan lentur akan diputus apabila tidak diperlukan. Jarak tulangan lentur yang diputus akan diputus sepanjang:

- $l = x + d$
- $l = x + 12 d$

(SNI 2847 2013 Ps.12.10.3)

Ket : x adalah jarak momen nominal luas tulangan sisa dari muka kolom.

Dan harus lebih panjang dari :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,12\sqrt{f'_c}} \left(\frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{c_b + K_{tr}} \right) \right) d_b$$

(SNI 2847 2013 Ps.12.2.3)

Tulangan lentur tidak boleh diputus apabila :

$$V_u < (2/3) \phi V_n$$

- **Perhitungan Tulangan Torsi**

1. Cek kebutuhan tulangan torsi

Pengaruh torsi boleh diabaikan apabila :

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left[\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right]$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.5.1)

2. Data properti penampang

- A_{0h} = Luas yang dibatasi sengkang
- $A_0 = 0,85 A_{0h}$
- P_h = Perimeter garis pusat tulangan torsi transversal tertutup yang terluar
- $\lambda = 1$ (beton normal)

(SNI 2847 2013 Ps.8.6.1)

3. Cek kecukupan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{0h}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.5.3.1)

4. Penulangan Torsi

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{T_n}{2 A_c f_y \cot 45^\circ}$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.5.3.6)

5. Kontrol Luas Sengkang (A_{vs}) Terpasang

$A_{vs} = (n \times 0,25 \times \Pi \times d^2 \times S)/s$ (terpasang)

$$- A_{vt} + A_{vs} > \frac{75 \sqrt{f'c'}}{1200} \times \frac{b S}{f_y}$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.5.5.2)

$$- A_{vt} + A_{vs} > \frac{1}{3} \times \frac{b S}{f_y}$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.5.5.2)

6. Hitung Jarak Sengkang Total

$$S = \frac{n 0,25 \pi d^2 S}{A_{vs} + A_{vt}}$$

3.2.6.3 Kolom

1. Desain Tulangan Lentur

Penulangan terhadap lentur dilakukan dengan metode *trial & error*. Setelah dilakukan penyusunan tulangan, kemudian cek diagram interaksi aksial dan lentur shearwall dengan menggunakan program PCACOL.

2. Desain Tulangan Pengekang / Transversal

a. Kolom Bundar

$$\rho_s = \frac{\alpha_s \pi D_c}{\left(\frac{\pi D_c^2}{4}\right) S} = \frac{4\alpha_s}{D_c S}, \text{ maka } S = \frac{4\alpha_s}{D_c \rho_s}$$

Dimana,

α_s = Luas penampang tulangan transversal

D_c = Dia. inti, (dia. Kolom – 2 selimut beton)

S = Jarak antar sengkang

b. Kolom Persegi

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_c} \right) - 1 \right]$$

$$\text{atau } A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c}{f_{yt}}$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.6.4.4)

Dimana,

A_{sh} = Luas penampang total tulangan minimum

s = Jarak antar tulangan

b_c = dimensi penampang inti dari tepi luar tulangan

3. Desain Tulangan Geser

- Menentukan gaya geser dari momen kapasitas balok

$$V_{sway} = \frac{M_{prb_{atas}} DF_{atas} + M_{prb_{bawah}} DF_{bawah}}{l_u}$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.6.2.2)

Dimana,

M_{prb} = Jumlah momen kapasitas balok

DF = Kekakuan kolom

lu = tinggi bersih kolom

- Cek kebutuhan sengkang

Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, bila :

- Gaya geser akibat gempa (M_{pr}) $> 0,5 \times$ total geser akibat kombinasi gempa dan beban gravitasi.

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{ln} > 0,5 V_{(1,2D + 1L)}$$

- Gaya tekan aksial $< \frac{Ag \cdot fc}{20}$

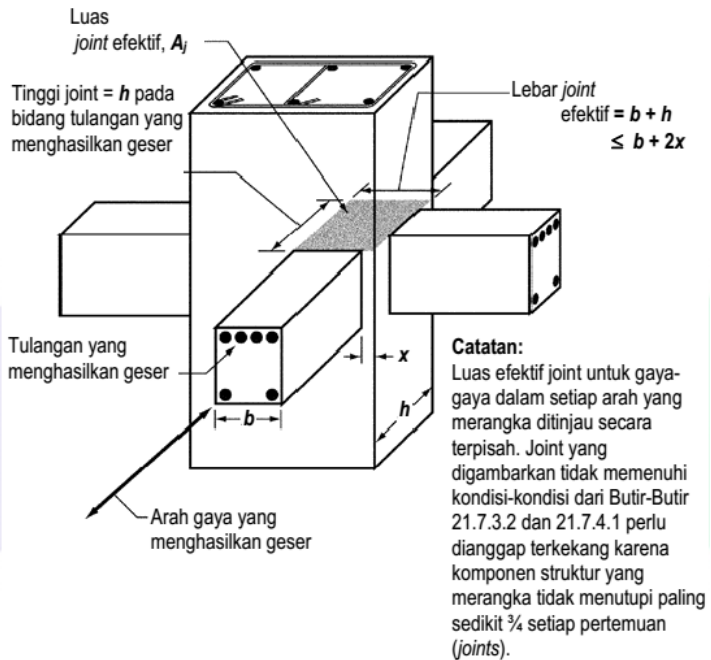
a. $\frac{Vu}{\phi} > \frac{1}{2} V_c, V_c = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} bw d$ maka dibutuhkan tulangan geser

b. $\frac{Vu}{\phi} > V_c + \frac{1}{3} bw d$, dibutuhkan tulangan geser minimum.

3.2.6.4 Hubungan Balok Kolom

1. Cek kondisi kekangan kolom terhadap lebar balok

Suatu kondisi dimana bisa dikatakan terkekang oleh balok adalah jika lebar balok salah satu dari sisi memiliki lebar $\frac{3}{4}$ lebar kolom.



Gambar 3.9 Syarat hubungan balok - kolom

2. Hitung kapasitas geser kolom

- Untuk *joint* yang terkekang oleh balok pada semua empat muka ,

$$\text{maka } V_n = 1,7 \sqrt{f'_c A_j}$$

- Untuk *joint* yang terkekang oleh balok pada tiga atau dua muka yang berlawanan , maka

$$V_n = 1,2 \sqrt{f'_c A_j}$$

- Untuk kasus – kasus lainnya ,

$$\text{maka } V_n = 1,0 \sqrt{f'_c A_j}$$

Dimana, A_j = Luas joint efektif
(SNI 2847 2013 Ps.21.7.4.1)

3. Hitung tulangan transversal

$$- V_u = T_1 + T_2 - V_{\text{sway}}$$

Dimana,

T_1 = Kapasitas tulangan lentur balok terpasang atas

T_2 = Kapasitas tulangan lentur balok terpasang bawah

V_{sway} = Gaya geser akibat goyangan & gravitasi

- Cek kebutuhan tulangan transversal

Jika $\phi V_n > V_u$, maka tidak dibutuhkan tulangan transversal tambahan dan cukup diberi tulangan transversal minimum.

3.2.6.5 Dinding Struktur

1. Cek kebutuhan baja tulangan minimum

$$V_u > \frac{1}{6} A_{cv} \sqrt{f_c'}$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.9.2.2)

maka diperlukan dua lapis tulangan

2. Hitung luas minimum kebutuhan tulangan per meter

Untuk dinding struktural, rasio tulangan vertikal ρ_v dan horizontal ρ_h minimum adalah 0,0025 dan spasi maksimum adalah

A = tebal dinding x 1 m

n tul. vertikal = A / A_s

3. Menentukan kebutuhan baja tulangan geser

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y) > V_u$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.9.4.1)

4. Penulangan Lentur

Penulangan terhadap lentur dilakukan dengan metode *trial & error*. Setelah dilakukan penyusunan tulangan, kemudian cek diagram

interaksi aksial dan lentur shearwall dengan menggunakan program PCACOL.

5. Cek kebutuhan komponen batas khusus (*special boundary element*).

$$c > \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.9.6.2)

Dimana,

c = Jarak sumbu netral dari serat teluar

l_w = panjang dinding

δ_u = perpindahan maksimum di puncak gedung

h_w = tinggi dinding

6. Menentukan jarak elemen pembatas khusus

$c - 0,1 l_w$ atau $c/2$, dipilih yang terbesar

(SNI 2847 2013 Ps.21.9.6.4)

7. Hitung tulangan logitudinal daerah batas khusus

$$\rho = \frac{A_{s_{terpasang}}}{t. \text{dinding} \times \text{Jarak batas khusus}} > 0,005$$

(SNI 2847 2013 Ps.21.9.6.5)

8. Hitung tulangan sengkang sejajar dinding

- $\frac{1}{4}$ panjang sisi terpendek

- 6 db

- $s_x \leq 100 + \frac{350 - \frac{2}{3}h_c}{3}$, dipilih yang terkecil

$$A_{sh} = \frac{0,09 s h_c f_c'}{f_{yh}}$$

Dimana ,

A_{sh} = Luas sengkang yang dibutuhkan

s = Jarak antar sengkang

h_c = dimensi inti dinding yang dikeang arah sejajar dinding

9. Hitung tulangan sengkang tegak lurus dinding

- $\frac{1}{4}$ panjang sisi terpendek

- 6 db

- $S_x \leq 100 + \frac{350 - \frac{2}{3}h_c}{3}$, dipilih yang terkecil

$$A_{sh} = \frac{0,09sh_c f_c'}{f_{yh}}$$

Dimana ,

A_{sh} = Luas sengkang yang dibutuhkan

s = Jarak antar sengkang

h_c = dimensi inti dinding yang dikekang arah tegak lurus dinding

3.2.6.6 Pondasi

a. Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tiang menggunakan data SPT tanah yang telah didapatkan.

1. Menghitung kapasitas ultimate satu tiang

$$Q_u = 40 N A_p + A_s N_{av} 1/5$$

Dimana :

N = Nilai rata – rata elevasi dasar tiang $(N_1 + N_2)/2$

N_1 = Nilai SPT pada kedalaman 4D ujung tiang kebawah

N_2 = Nilai SPT pada kedalaman 8D ujung tiang keatas

A_p = Luas penampang dasar tiang

2. Menghitung kapasitas layan satu tiang

$$P_{ijin} = Q_u / SF$$

3. Menghitung jarak tiang pancang

- Syarat jarak antar tiang pancang

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

- Syarat jarak tepi pile cap ke tiang pancang

$$1,5D \leq S \leq 2D$$

- Perhitungan daya dukung tiang kelompok (grup)

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y x}{\Sigma x^2} + \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

b. Pile Cap

- Dimensi pile cap

- Jumlah tiang (n) = $\frac{1,05 P_{max}}{P_{ijin}}$

- Pn, pile = $\frac{P_{max} + Wn}{n}$

Dimana,

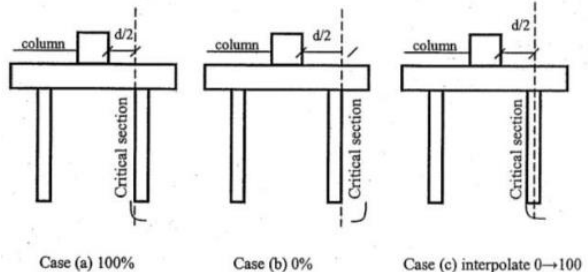
P_{max} = Gaya aksial kolom terbesar ke pondasi

Wn = Berat sendiri pile cap

P_{ijin} = P ijin tanah

- Desain geser satu arah

- Cek kondisi kritis *pile* dari muka kolom



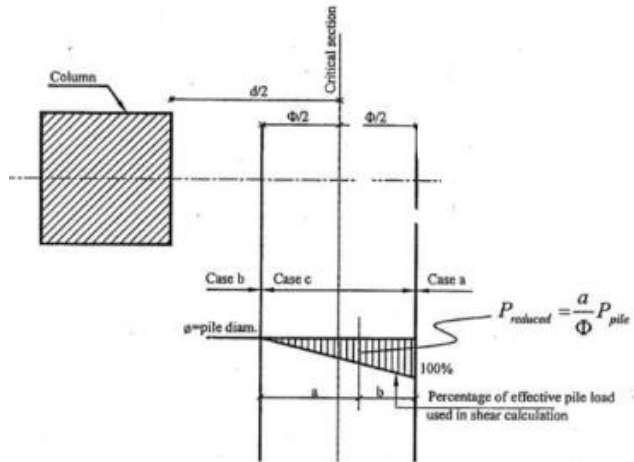
Gambar 3.10 Kondisi kritis pile terhadap muka kolom

Dimana,

Kasus a , semua gaya dalam *pile* diperhitungkan

Kasus b, semua gaya dalam *pile* tidak diperhitungkan

Kasus c , gaya dalam *pile* digunakan interpolasi yaitu



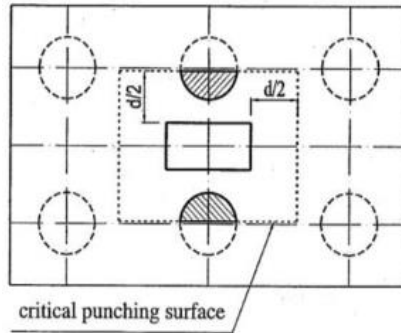
Gambar 3.11 Kondisi kritis kolom untuk jarak interpolasi

- Hitung gaya geser

$$V_u = n \cdot P_{u, reduced} - 1,2 D \text{ (Pile Cap)}$$
- Cek kapasitas gaya geser beton

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d > V_u$$

(SNI 2847 2013 Ps.11.11.2.1)
- 3. Desain geser dua arah
 - Menentukan luas pengaruh geser kritis



$$a1 = L \text{ kolom} + d$$

$$b1 = L \text{ kolom} + d$$

$$U = 2 (a1 + b1)$$

- Menghitung gaya aksial *punch*

$$Pu, \text{ punch} = Pu + Wu - P \text{ pile (didalam } d/2)$$

- Menghitung tegangan geser *punch*

$$\tau_u = \frac{Pu_{\text{punch}}}{U \cdot d}$$

- Cek tegangan geser beton

$$\tau_c = 0,33 \cdot 1 \sqrt{f'c} > \tau_u$$

4. Desain lentur pile cap

$$- Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

- Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{fy}} \right)$$

Dimana :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

- Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$A_s = \rho x b \times d$$

3.2.7 Perhitungan Struktur Baja

3.2.7.1 Balok

Perhitungan balok baja direncanakan tidak komposit dengan pelat lantai sehingga perhitungan kapasitas balok didasarkan hanya pada kuat nominal balok baja.

1. Kontrol terhadap tekuk lokal
Kontrol berdasarkan perbandingan lebar sayap dan tebal badan balok.
2. Kontrol terhadap tekuk lateral
3. Kontrol kuat geser

3.2.7.2 Sambungan Baut

Desain sambungan baut bergantung pada gaya dalam yang diterima pada sambungan. Sambungan antar balok – balok , balok – *end plate* pada struktur bisa menerima tiga gaya dalam diantaranya adalah gaya geser , gaya tarik , dan gaya tumpu.

- a. Kuat Geser Baut

$$\phi R_n = F_n A_b$$

(SNI 1729 2015 Ps.J3 No. 6)

Dimana,

$$\phi = 0,75$$

A_b = Luas penampang baut

F_n = Tegangan geser nominal baut

- b. Kuat Tumpu Baut

$$\phi R_n = F_{nt} A_b$$

(SNI 1729 2015 Ps.J3 No. 7)

Dimana,

$$\phi = 1,0$$

A_g = Luas penampang baut

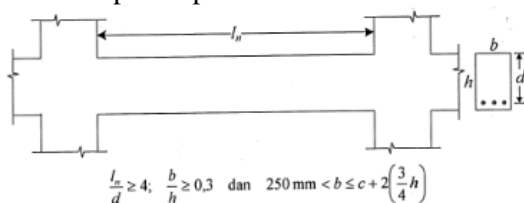
f_{nt} = Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser

3.2.8 Persyaratan Struktur Beton

Ketentuan Khusus Komponen Struktur Beton SRPMK Berdasarkan SNI 2847 2013 telah diatur ketentuan kekuatan beton untuk seluruh elemen struktur SRPMK ditetapkan tidak boleh kurang dari 20 MPa.

3.2.8.1 Balok

- Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < A_g \cdot f_c / 20$.
- Bentang bersih komponen struktur l_n harus lebih dari empat kali tinggi efektifnya.
- Lebar komponen b_w harus melebihi 0,3 h atau 250 mm.
- Lebar komponen struktur (b_w), tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, ditambah suatu jarak penumpu (c_2) ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b)
 - a. Lebar komponen struktur penumpu (c_2)
 - b. 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu.



Gambar 3.12 Ketentuan Dimensi Balok

Sumber : Iswandi Imran & Fajar Hendrik (2010)

3.2.8.2 Kolom

Persyaratan untuk kolom pada *SNI 2847 2013* diatur dalam komponen struktur rangka momen

khusus yang dikenai beban aksial dan beban lentur. Berikut persyaratan yang ada pada pasal 21.6 :

- Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < A_g f_c / 10$.
- Dimensi penampang terpendek, diukur garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.
- Luas tulangan memanjang $0,01A_g < A_{st} < 0,06A_g$.
- Kolom dengan dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum 6.

Persyaratan tulangan transversal spiral untuk kolom berbentuk lingkaran diatur tersendiri dalam pasal 7.10.4 dan 21.6.4.4 yaitu :

- Untuk konstruksi cor di tempat ukuran tulangan > 10 mm.
 - Spasi bersih antar spiral tidak boleh melebihi 75 mm atau tidak kurang dari 25 mm.
 - Rasio volume tulangan spiral (ρ_s) tidak boleh kurang dari
- $$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_{c'}}{f_{yt}} \text{ dan } \rho_s = 0,12 \left(\frac{f_{c'}}{f_{yt}} \right)$$

3.2.8.3 Dinding Struktur Khusus

Ketentuan umum untuk struktur dinding struktur diatur dalam *SNI 2847 2013 pasal 14.3* adalah sebagai berikut :

- Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton (ρ_t)
 - a. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y kurang dari 420 MPa.
 - b. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya.

- Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luar bruto beton (ρ_t)
 - a. 0,002 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y kurang dari 420 MPa.
 - b. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya.
- Jarak tulangan vertikal dan horizontal satu sama lain tidak boleh lebih jauh dari tiga kali tebal dinding atau lebih jauh dari 450 mm.

3.2.9 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Baja

3.2.9.1 Lingkup Pekerjaan

Item pekerjaan yang dibahas pada proyek akhir ini adalah pekerjaan *erection* / pemasangan balok baja sesuai dengan gambar teknik termasuk alat berat yang digunakan dan tahap – tahap pekerjaan dari proses fabrikasi hingga komponen terpasang.

3.2.9.2 Menentukan Alat Berat

Alat berat yang digunakan pada pemasangan balok baja adalah tower crane sesuai dengan spesifikasi teknis alat berat pada lampiran.

3.2.9.3 Tahap Pelaksanaan

1. Fabrikasi

a. Gambar Kerja

Sebelum fabrikasi kontraktor membuat gambar kerja yang terdiri dari salinan gambar yang akan diberikan pada *supplier* baja. Dari gambar tersebut, *supplier* membuat salinan gambar (*approval drawing*) yang berisi gambar – gambar komponen baja yang sesuai pesanan dan yang bisa diproduksi oleh *supplier*. Kemudian kontraktor dan *supplier* saling menyesuaikan dan menyetujui gambar

yang sebelumnya telah di cek oleh kontraktor.

Pihak *supplier* membuat daftar setiap komponen material yang dipesan kepada kontraktor. Dari daftar komponen material tersebut, kontraktor membuat jadwal pengiriman baja yang diinginkan untuk diserahkan kepada *supplier*.

b. *Marking* Komponen

Untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan, *supplier* menandai setiap komponen material dengan kode yang terlihat jelas.

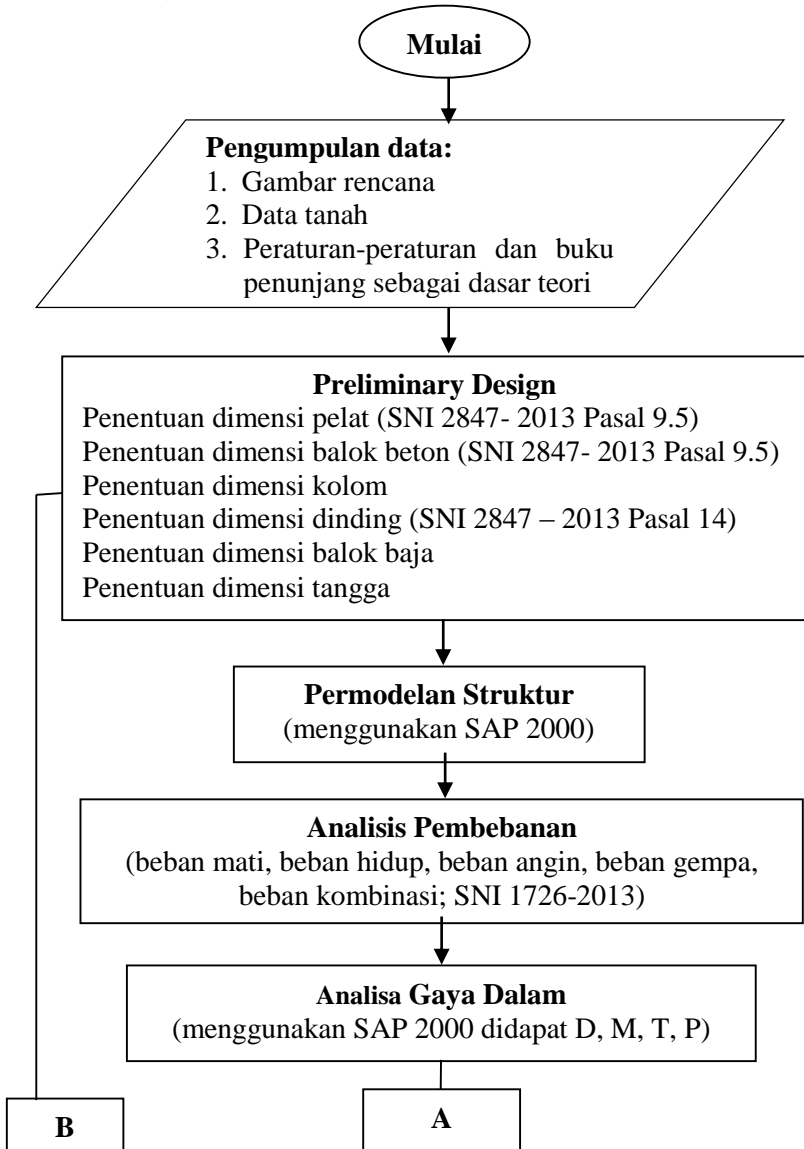
2. *Erection* / Pemasangan

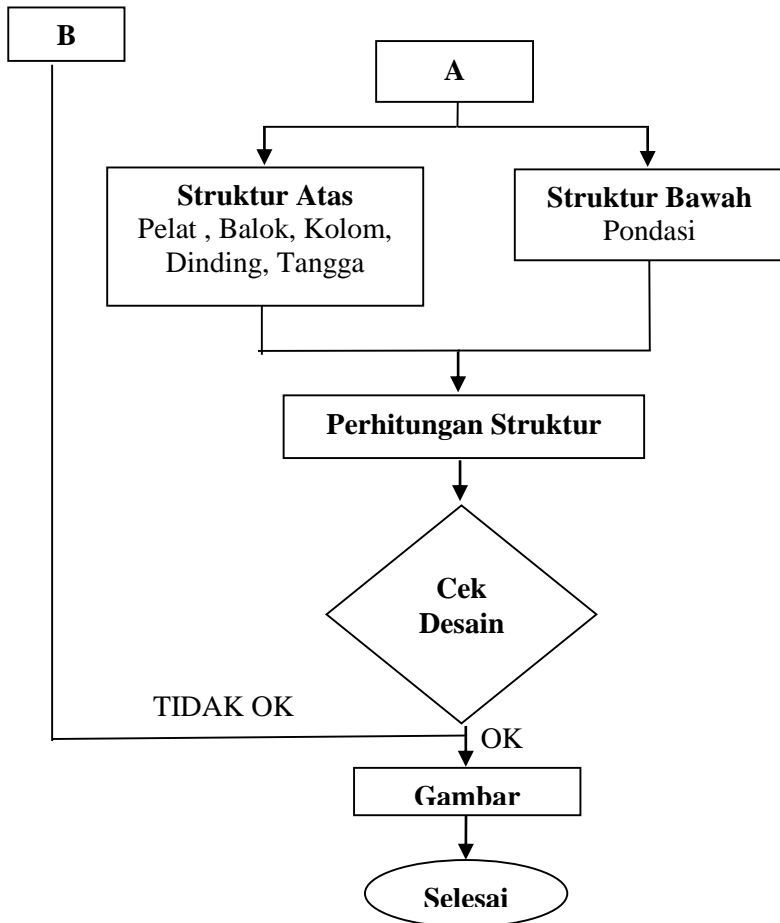
Pemasangan balok baja yang dibahas meliputi pekerjaan pemotongan, pengelasan, penyimpanan, penyambungan, dan pengecatan terakhir.

3.2.10 Gambar Rencana

1. Gambar Arsitektur
 - a. Gambar Denah
2. Gambar Penulangan
 - a. Gambar penulangan pelat
 - b. Gambar penulangan balok
 - c. Gambar penulangan kolom
 - d. Gambar penulangan dinding
3. Gambar Detail
 - a. Gambar detail panjang penyaluran
 - b. Gambar detail pondasi
 - c. Gambar detail sambungan baja
4. Gambar Struktur
 - a. Gambar balok dan kolom beton
 - b. Gambar balok baja

3.2.11 Diagram Alir Perencanaan





BAB IV

PERENCANAAN AWAL STRUKTUR

4.1 Umum

Perencanaan awal struktur merupakan gambaran awal dalam merencanakan dimensi yang akan digunakan dengan mengacu peraturan SNI 2847:2013 dan metode “*trial and error*” apabila didalam peraturan tidak memuat secara spesifik tipe elemen struktur yang ditinjau.

4.2 Perencanaan Dimensi Pelat

4.2.1 Pelat Lantai Struktur Utama

Bentuk pelat lantai yang bermacam – macam dan merupakan bagian dari struktur utama bangunan untuk faktor kenyamanan digunakan tebal pelat 12 cm.

4.2.2 Pelat Lantai Struktur Sekunder

Bentuk pelat lantai yang bermacam – macam dan merupakan bagian dari struktur utama bangunan untuk faktor kenyamanan digunakan tebal pelat 12 cm.

4.2.3 Pelat Lantai Atap

Dengan mempertimbangkan beban yang diterima hanya beban air hujan dan bukan beban yang didesain untuk aktivitas maka digunakan tebal pelat 10 cm.

4.2.4 Pelat Lantai Lahan Parkir

Dengan mempertimbangkan beban yang diterima yaitu kendaraan bermotor maka digunakan tebal pelat 12 cm.

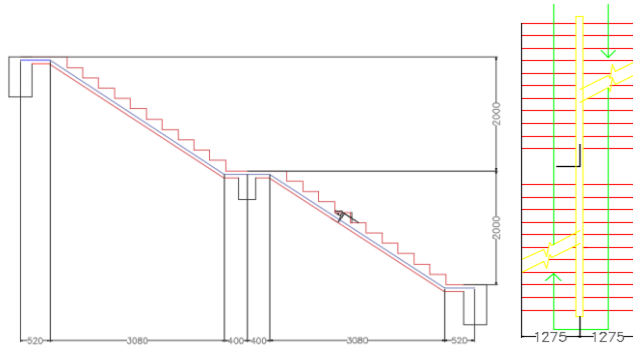
4.2.5 Pelat Lantai Balkon (Lantai 3)

Direncanakan menggunakan tebal pelat 12 cm

4.3 Perencanaan Tangga

4.3.1 Tangga Darurat

- Data Perencanaan



Lebar Tangga = 1275 mm Panjang bordes = 800 mm

Panjang Tangga = 3080 mm Tinggi Bordes = 2000 mm

$$\alpha = \arctan \frac{2000}{3080} = 33^\circ < 40^\circ \text{ (Sesuai Syarat)}$$

- Perencanaan Anak Tangga

Berdasarkan *SNI 03-1746-2000* tentang tangga darurat, Lebar injakan (Antrepede) minimal 280 mm.

$$\text{Jumlah Antrepede} = \frac{\text{Panjang Tangga}}{\text{Panjang Antrepede}} = \frac{3080}{280} = 11 \text{ buah}$$

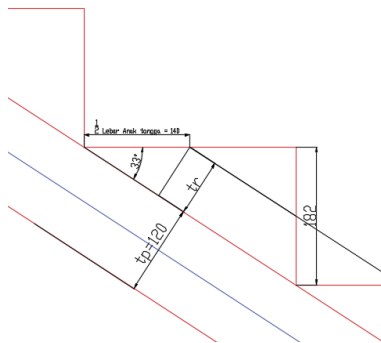
$$\text{Jumlah Optrede} = \text{Antrepede} = 11 \text{ buah}$$

$$\text{Tinggi Optrede} = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Jumlah Antrepede}} = \frac{2000}{11} = 181 \text{ mm} \approx 182 \text{ mm}$$

- Perencanaan Tebal Pelat

$$\text{Panjang Pelat} = \frac{\text{Panjang Tangga}}{\cos 33^\circ} = \frac{3080}{\cos 33^\circ} = 3672,5 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pelat (tp)} = \frac{3672,5}{28} = 131 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm} \text{ dinilai sudah cukup.}$$



$$\begin{aligned}\text{Tebal Pelat rata-rata anak tangga (tr)} &= \sin 33 \left(\frac{1}{2} 280 \right) \\ &= 76,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Tebal Pelat total} = tp + tr = 120 + 76,3 = 196,3 \text{ mm}$$

4.4 Perencanaan Dimensi Balok

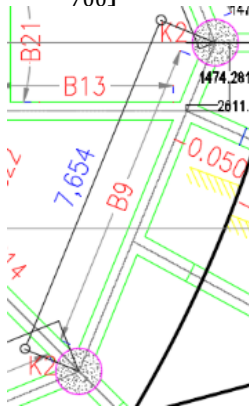
4.4.1 Balok

Balok B9

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{765.4}{16} = 47,84 \text{ cm}$$

(SNI 2847-2013 tabel 9.5 (a))

$$h_{min} = 47.84 \left[0,4 + \frac{290}{700} \right] = 38.95 \text{ cm} \approx 650 \text{ mm}$$



Dengan cara yang sama, didapat dimensi balok yang lain sebagai berikut.

Jenis Balok	Bentang	Mutu Tulangan		h min	h pakai	b pakai	Dimensi
		fc'	fy				
	mm	MPa		mm	mm	mm	
B1	4000	30	400	250	500	300	50/30
B2	3000	30	400	187.5	500	300	50/30
B3A	7700	30	400	481.25	600	400	60/40
B3B	7956	30	400	497.25	600	400	60/40
B3C	4057	30	400	253.5625	600	400	60/40
B4A	8000	30	400	500	650	400	65/40
B4B	8000	30	400	500	650	400	65/40
BA4	8000	30	400	500	650	400	65/40
B5A	4000	30	400	250	800	400	80/40
B5B	4031	30	400	251.9375	800	400	80/40
B5C	8850	30	400	553.125	800	400	80/40
BA5	3500	30	400	218.75	800	400	80/40
B6A	8000	30	400	500	1000	500	100/50
B6B	8000	30	400	500	1000	500	100/50
B6C	8790	30	400	549.375	1000	500	100/50
BA6	8000	30	400	500	800	400	80/40
B7	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B8	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B9	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B10	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B11	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B12	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B13	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B14	7653	30	400	478.3125	650	400	65/40
B15	4719	30	400	294.9375	650	400	65/40
B16	8000	30	400	500	650	400	65/40
B17	2150	30	400	134.375	650	400	65/40
B18	4086	30	400	255.375	650	400	65/40
B19	6375	30	400	398.4375	650	400	65/40
B20	8000	30	400	500	650	400	65/40
B21	2950	30	400	184.375	650	400	65/40
B22	2512	30	400	157	650	400	65/40
B23	4615	30	400	288.4375	650	400	65/40
B24	1300	30	400	81.25	300	200	30/20

Tabel 4.1 Perencanaan Awal Dimensi Balok Induk

4.4.2 Perencanaan Balok Lift

a. Balok Penumpu Lift

- Mutu bahan
Mutu beton : fc 30 MPa
Mutu tulangan : BJ 41
- Dimensi

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{215}{16} = 13,44 \text{ cm}$$

(SNI 2847-2013 tabel 9.5 (a))

$$h_{min} = 13,44 \left[0,4 + \frac{290}{700} \right] = 10,94 \text{ cm} \approx 400 \text{ mm}$$

$$b = 2/3 h = 2/3 \cdot 400 \approx 300 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok **30/40**

b. Balok Penggantung Lift

- Mutu bahan
Mutu beton : f_c 30 MPa
Mutu tulangan : BJ 41

- Dimensi

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{230}{16} = 14,375 \text{ cm}$$

(SNI 2847-2013 tabel 9.5 (a))

$$h_{min} = 14,375 \left[0,4 + \frac{290}{700} \right] = 11,7 \text{ cm} \approx 300 \text{ mm}$$

$$b = 2/3 h = 2/3 \cdot 300 \approx 200 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok **20/30**

4.4.3 Perencanaan Balok Baja

Dalam merencanakan awal dimensi balok baja yang digunakan dalam struktur, akan digunakan metode "*Trial and Error*".

4.5 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847 :2013 kolom harus direncanakan untuk mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada beberapa satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

Area pembebanan salah satu contoh kolom yang ditinjau adalah perkiraan rata – rata luas area setiap lantai yang apabila ditinjau lebih detail setiap lantai memiliki luas area pembebanan terhadap kolom yang berbeda. Panjang setiap balok baja yang membebani balok dalam tabel dihitung secara

BEBAN MATI								
LANTAI 1								
Beban Mati	Berat Sendiri		B	L	Luas	t	x lantai	Berat
			m	m	m ²	m	1	kg
Pelat Lantai (12 cm)	2400	kg /m ³	-	-	47.71	0.12	1	13740.48
Balok Induk (40/65)	2400	kg /m ³	0.4	15.8	-	0.65	1	9859.2
Balok Induk (40/60)	2400	kg /m ³	0.4	6.7	-	0.6	1	3859.2
Kolom (Ø100)	2400	kg /m ³	-	-	0.03	4	1	288
Tegel	24	kg/m ²	-	-	47.71	-	1	1145.04
Spesi (2 cm)	42	kg/m ²	-	-	47.71	-	1	2003.82
<i>ducting plumbing</i>	25	kg/m ²	-	-	47.71	-	1	1192.75
Plafon	11	kg/m ²	-	-	47.71	-	1	524.81
Berat Total								32613.3
LANTAI 2 - 20 (ATAP)								
Beban Mati	Berat Sendiri	Satuan	B	L	Luas	t	x lantai	Berat
			m	m	m ²	m		kg
Pelat Lantai (12 cm)	2400	kg /m ³	-	-	17	0.12	19	93024
Pelat Lantai (10 cm)	2400	kg /m ³	-	-	30	0.1	19	136800
Balok Induk (40/65)	2400	kg /m ³	0.4	8.2	-	0.65	19	97219.2
Balok H588.300.12.20	7850	kg /m ³	-	36	0.019	-	-	5440.05
Balok H500.200.10.16	7850	kg /m ³	-	49.35	0.011	-	-	4424.07945
Balok H250.125.6.9	7850	kg /m ³	-	152.8	0.004	-	-	4517.24168
Balok H200.100.5.5.8	7850	kg /m ³	-	44.4	0.003	-	-	948.0288
Kolom (Ø100)	2400	kg /m ³	-	-	0.03	4	19	5472
<i>ducting plumbing</i>	25	kg /m ²	-	-	47	-	19	22325
Plafon	11	kg /m ²	-	-	47	-	19	9823
Tegel	24	kg /m ²	-	-	47	-	19	21432
Spesi (2 cm)	42	kg /m ²	-	-	47	-	19	37506
Berat Total								438930.5999
BEBAN HIDUP								
LANTAI 1								
Beban Hidup	Berat Sendiri	Satuan	B	L	Luas	t	x lantai	
			m	m	m ²	m		
Beban Hidup (Lobi)	500	kg /m ²	-	-	47	-	1	23500
LANTAI 2 - 19								
Beban Hidup (R.Kantor)	250	kg /m ²			47		18	211500
LANTAI 20 (ATAP)								
Beban Air Hujan	100	kg /m ²			47		1	4700
Berat Total								239700
WD (Beban Mati) Total								
								471543.9
WL (Beban Hidup) Total								
								239700

Tabel 4.2Pembebanan Kolom K2

Koefisien reduksi untuk beban hidup (PPIUG Tabel 3.3 = 0,75.

Jadi total beban hidup : $LL = 0,75 \times WL$ Total = 179775 kg

Jadi Berat total : $W = 1,2D + 1,6L$

$$= 853492,68 \text{ kg}$$

Mutu Beton = 40 MPa = 400 kg/cm² (1 MPa = 1 kg/cm²)

$$\text{Dimensi} : A = 3 \times \frac{P}{f_c'} = 3 \times \frac{853492,68}{400} = 6401,12 \text{ cm}^2$$

$$: D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = 90,27 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi kolom K2 yang digunakan adalah Ø100 cm.

Dengan cara yang serupa, didapat dimensi kolom yang lain.

4.6 Perencanaan Dimensi Dinding Struktur

Berdasarkan *SNI 2847 2013 Ps. 14.3.5.1* tebal dinding struktur minimum $\frac{1}{25}h$. Setiap lantai memiliki ketinggian 4m,

$$\text{maka } t = \frac{1}{25} 400 \text{ cm} = 16 \text{ cm}.$$

Jadi direncanakan tebal dinding struktur 40 cm.

BAB V

PERMODELAN STRUKTUR

5.1 Langkah – Langkah Permodelan

Langkah – langkah yang akan dijelaskan hanya merupakan langkah umum dalam permodelan struktur bangunan. Untuk permodelan setiap elemen struktur, pembebanan, dan bagian – bagian lain yang lebih detail tidak ditampilkan secara utuh dalam tugas akhir terapan ini.

5.1.1 Data Masukan Grid

Membuat grid sesuai as bangunan yang telah direncanakan dan didesain sebelumnya.

Define Grid System Data

System Name: GLOBAL Units: Kgf, mm, C

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Bubble Loc.
1	A	-3050	Primary	Show	End	
2	A	0	Primary	Show	End	
3	Sw1	6700	Primary	Hide	End	
4	B	8000	Primary	Show	End	
5	Sw2	10450	Primary	Hide	End	
6	C	12000	Primary	Show	End	
7	Sw3	13950	Primary	Hide	End	
8	C	16000	Primary	Show	End	

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Bubble Loc.
1	1	56000	Primary	Show	Start	
2	1A	52000	Primary	Show	Start	
3	2	48000	Primary	Show	Start	
4	2A	44000	Primary	Show	Start	
5	3	40000	Primary	Show	Start	
6	3A	36000	Primary	Show	Start	
7	4	32000	Primary	Show	Start	
8	4A	28000	Primary	Show	Start	

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.
1	Z1	0	Primary	Show	End
2	Z2	4000	Primary	Show	End
3	Z3	8000	Primary	Show	End
4	Z4	12000	Primary	Show	End
5	Z5	16000	Primary	Show	End
6	Z6	20000	Primary	Show	End
7	Z7	24000	Primary	Show	End
8	Z8	28000	Primary	Show	End

Grid Lines: Quick Start...

Display Grids as: ☒ Ordinates ☐ Spacing

☒ Hide All Grid Lines
☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1625

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

Gambar 5.1 Tampilan ukuran grid SAP

5.1.2 Data Masukan Material

Memasukkan karakteristik material yang digunakan baik baja maupun beton.

Material Property Data (Steel)

Property	Value
Material Name and Display Color	BJ 50
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight per Unit Volume	7.698E-05
Mass per Unit Volume	7.650E-09
Units	N, mm, C
Modulus of Elasticity, E	20000
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	7692.3077
Minimum Yield Stress, Fy	290
Minimum Tensile Stress, Fu	500
Effective Yield Stress, Fye	290
Effective Tensile Stress, Fue	500

Material Property Data (Concrete)

Property	Value
Material Name and Display Color	FC 35
Material Type	Concrete
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight per Unit Volume	2.354E-05
Mass per Unit Volume	2.400E-09
Units	N, mm, C
Modulus of Elasticity, E	27805.575
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	11585.656
Specified Concrete Compressive Strength, f'c	35
Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
Shear Strength Reduction Factor	

Gambar 5.2 Input data karakteristik material

5.1.3 Data Masukan Elemen Struktur

Hasil perencanaan awal dimensi elemen struktur balok, kolom, pelat dan elemen lainnya dimasukkan datanya seperti pada gambar berikut.

I/Wide Flange Section

Property	Value
Section Name	H588 300 12.20
Section Notes	Modify/Show Notes...
Material	BJ 50
Outside height (I3)	588
Top flange width (I2)	300
Top flange thickness (I1)	20
Web thickness (Iw)	12
Bottom flange width (I2b)	300
Bottom flange thickness (I1b)	20

Rectangular Section

Property	Value
Section Name	BALOK B1
Section Notes	Modify/Show Notes...
Material	FC 35
Depth (I3)	400
Width (I2)	200

5.1.4 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (mass source) adalah massa struktur pada SAP 2000v14 yang digunakan pada perhitungan massa untuk analisa modal. Dalam peninjauan beban gempa, berat sendiri ditambah dengan beban mati tambahan dan beban hidup dikalikan dengan faktor reduksi yang sesuai dengan SNI 1727 2013 Pasal 4.7.

Define Mass Source

Mass Definition

☐ From Element and Additional Masses

☒ From Loads

☐ From Element and Additional Masses and Loads

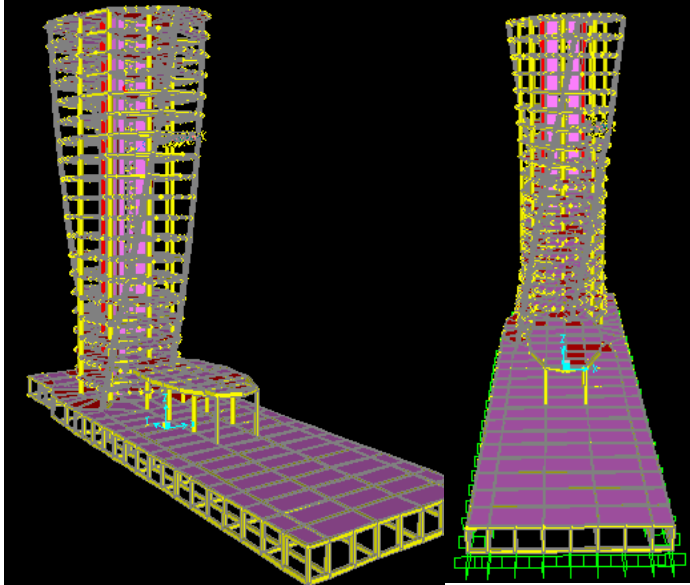
Define Mass Multiplier for Loads

Load	Multiplier
LIVE	0.8
DEAD	1
DEAD OTHER	1
LIVE	0.8

Gambar 5.3 Input form mass source SAP 2000 v14

5.1.5 Permodelan 3D Struktur

Berikut hasil permodelan struktur 3D menggunakan SAP 2000.



Gambar 5.4 Permodelan 3D Struktur Gedung

5.2 Pembebanan Permodelan Struktur

5.2.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi terdiri dari beban hidup dan beban mati yang telah dikombinasikan.

Pembebanan gravitasi yang dibebankan kepada pelat lantai dibahas Bab VI (Sub Bab 6.1.2).

5.2.2 Beban Gempa

a. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko

Dari tabel faktor keutamaan bangunan SNI 1726 2012 untuk gedung perkantoran termasuk kategori resiko II dan memiliki faktor keutamaan (I_e) sebesar 1,0.

b. Klasifikasi Jenis Tanah

Penentuan jenis tanah untuk peninjauan gempa adalah data tanah pada lapisan setebal maksimum 30 m paling atas sesuai SNI 1726 2012.

Data tanah pada lampiran dirangkum berdasarkan kedalaman setiap 2,5 m.

Kedalaman	Nilai N	di	di / N
0	0	0	0.000
2.5	10	2.5	0.250
5	6	2.5	0.417
7.5	2	2.5	1.250
10	4	2.5	0.625
12.5	11	2.5	0.227
15	14	2.5	0.179
17.5	12	2.5	0.208
20	10	2.5	0.250
22.5	14	2.5	0.179
25	16	2.5	0.156
27.5	19	2.5	0.132
30	25	2.5	0.100
Σ	143	30	3.972245
N Rata-rata			7.552

Tabel 5.1 Data tanah berdasarkan nilai N-SPT

Dari perhitungan tabel diatas didapat $\bar{N} = 7,552 < 15$, maka jenis tanah yang digunakan dalam perhitungan adalah **tanah lunak**.

c. Parameter Percepatan Gempa

Pada SNI 1726 2012 untuk wilayah Surabaya dan sekitarnya memiliki nilai S_s sebesar 0,65 dan S_l sebesar 0,2

d. Parameter Respon Spektrum

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Tabel 5.2 Koefisien Situs , Fa

$$F_a = 1,7 - \frac{0,5}{0,75} (1,7 - 1,2) = 1,367$$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE _R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Tabel 5.3 Koefisien Situs , Fv

$$F_v = 3,2$$

Parameter spektrum respon percepatan pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a S_s & S_{M1} &= F_v S_1 \\ &= 1,367 \times 0,65 & &= 3,2 \times 0,2 \\ &= 0,889 & &= 0,64 \end{aligned}$$

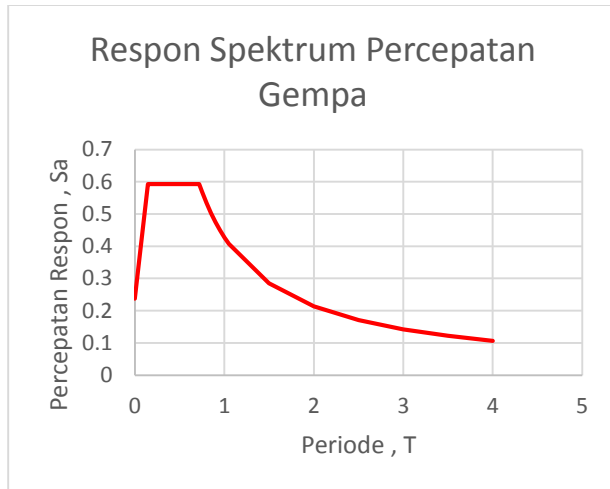
Parameter percepatan spektral desain pendek S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{D1} .

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} & S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} 0,889 & &= \frac{2}{3} 0,64 \\ &= 0,593 & &= 0,427 \end{aligned}$$

e. Desain Respon Spektrum

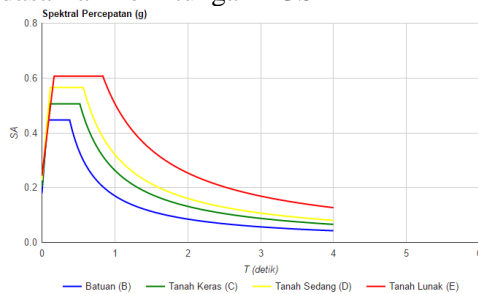
- Perhitungan Manual

Mengunakan persamaan yang telah dibahas bab sebelumnya yaitu persamaan (3.5 – 3.8).



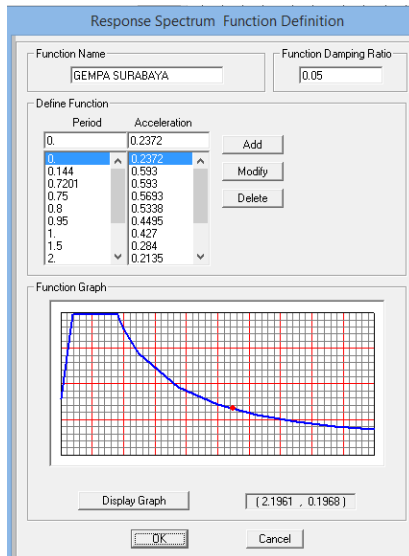
Gambar 5.5 Grafik Respon Spektrum Perhitungan Manual

- Berdasarkan Perhitungan PUSKIM



Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum Berdasarkan Data Puskim

Berdasarkan data diatas didapat selisih yang tidak jauh. Maka untuk faktor keamanan digunakan hasil respon perhitungan Puskim.



Gambar 5.7 Grafik Respon Spektrum di SAP 2000

f. Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul khusus. Dengan sistem ganda ini, menurut SNI 03-1726-2012 Ps. 7.2.5.1 sistem rangka pemikul momen khusus menahan minimal 25% gaya gempa. Berdasarkan tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5, dan nilai koefisien modifikasi respon (R) = 7

g. Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus

dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

Faktor skala dalam pembebanan : $9,81 \times I / R$

- Gempa Respon Spektrum X :

100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y

$$U_1 = 100\% \times 9,81 \times \frac{1}{7} = 1,4$$

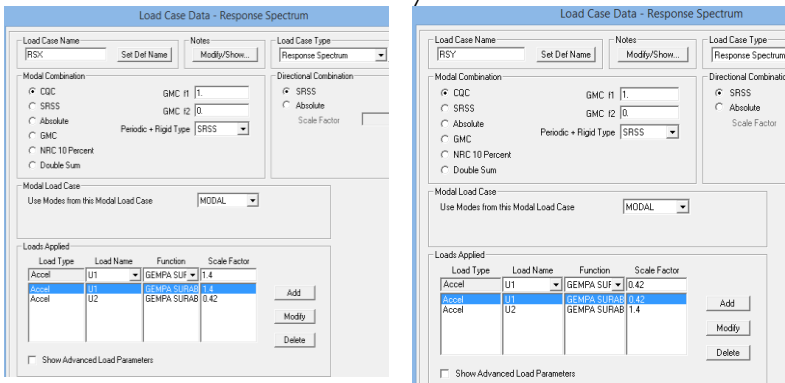
$$U_2 = 30\% \times 9,81 \times \frac{1}{7} = 0,42$$

- Gempa Respon Spektrum Y :

100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

$$U_1 = 30 \times 9,81 \times \frac{1}{7} = 0,42$$

$$U_2 = 100\% \times 9,81 \times \frac{1}{7} = 1,4$$



Gambar 5.8 Arah Pembebanan Gempa X dan Y

h. Analisis Modal

Analisis modal menggunakan *SAP 2000* diambil sebanyak 3 kali dari jumlah lantai yang dimodelkan, *Mode Shape* untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90 %. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral kearah X dan kearah Y.

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Modal Design...

Stiffness to Use:

- ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
- ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- ☐ Eigen Vectors
- ☒ Ritz Vectors

Number of Modes:

- Maximum Number of Modes: 60
- Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Accel	UX	0	99
Accel	UY	0	99

Add Modify Delete

OK Cancel

3 x jumlah lantai
= 3 x 20 = 60

Gambar 5.9 Input Analisa Modal SAP

5.2.3 Beban Angin

a. Penentuan Kategori Resiko dan Kecepatan Angin

Kategori resiko bangunan gedung ini adalah kategori satu dan kecepatan angin adalah 9 km/jam atau dalam perencanaan diambil 15 km/jam.

b. Penentuan Koefisien

- Faktor arah angin, $K_d = 0,85$
- Kategori eksposur bangunan adalah kategori B
- Faktor topografi, $K_{zt} = 1$
- Faktor efek tiupan angin = 0,85
- Klasifikasi ketertutupan berdasarkan Ps. 26.10
- Koefisien tekanan internal $GC_{pi} = \pm 0,18$

c. Tekanan Angin Desain

- Koefisien tekanan eksposur tiap lantai
Koefisien tekanan eksposur yang tidak terdapat tabel maka digunakan interpolasi untuk menentukan koefisien eksposur.

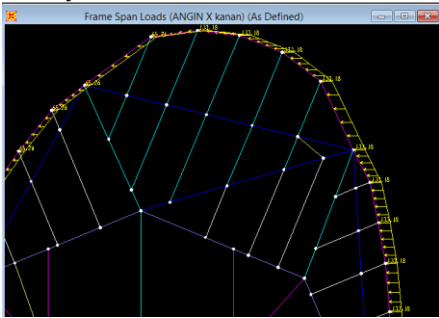
Tinggi lantai yang ditinjau		Kz	Kzt	Kd	Vs	q
		a	b	c	d	e
						$(0.613 * a * b * c * d^2)$
m	ft				m/s	N/m ²
4	13.12336	0.4986877	1	0.85	13	43.913
8	26.24672	0.6699738	1	0.85	13	58.996
12	39.37008	0.7562205	1	0.85	13	66.591
16	52.49344	0.8199738	1	0.85	13	72.205
20	65.6168	0.8724672	1	0.85	13	76.827
24	78.74016	0.9249606	1	0.85	13	81.450
28	91.86352	0.9655906	1	0.85	13	85.027
32	104.98688	1.0024672	1	0.85	13	88.275
36	118.11024	1.0352756	1	0.85	13	91.164
40	131.2336	1.068084	1	0.85	13	94.053
44	144.35696	1.0987139	1	0.85	13	96.750
48	157.48032	1.1249606	1	0.85	13	99.061
52	170.60368	1.1512074	1	0.85	13	101.372
56	183.72704	1.1755906	1	0.85	13	103.520
60	196.8504	1.1952756	1	0.85	13	105.253
64	209.97376	1.215958	1	0.85	13	107.074
68	223.09712	1.2369554	1	0.85	13	108.923
72	236.22048	1.2579528	1	0.85	13	110.772
76	249.34384	1.2789501	1	0.85	13	112.621
80	262.4672	1.2974541	1	0.85	13	114.250

Tinggi lantai yang ditinjau		G	Cp		(Gcpi)		P (Tekanan Angin Desain)	
		f	g	h	i	j	(e*F*g)-(e*i)	(e*F*h)-(e*j)
			Tekan	Hisap	Tekan	Hisap	Tekan	Hisap
m	ft						N/m2	N/m2
4	13.12336	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	21.9566	-10.759
8	26.24672	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	29.4981	-14.454
12	39.37008	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	33.2954	-16.315
16	52.49344	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	36.1024	-17.690
20	65.6168	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	38.4136	-18.823
24	78.74016	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	40.7248	-19.955
28	91.86352	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	42.5137	-20.832
32	104.9869	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	44.1374	-21.627
36	118.1102	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	45.5819	-22.335
40	131.2336	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	47.0264	-23.043
44	144.357	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	48.3750	-23.704
48	157.4803	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	49.5306	-24.270
52	170.6037	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	50.6862	-24.836
56	183.727	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	51.7598	-25.362
60	196.8504	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	52.6265	-25.787
64	209.9738	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	53.5371	-26.233
68	223.0971	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	54.4616	-26.686
72	236.2205	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	55.3861	-27.139
76	249.3438	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	56.3105	-27.592
80	262.4672	0.85	0.8	-0.5	0.18	-0.18	57.1252	-27.991

Tabel 5.4 Perhitungan Beban Angin Tiap Lantai

d. Pembebanan Permodelan

Memasukkan data pembebanan angin kedalam permodelan struktur, tekanan angin yang telah dihitung dibebankan horizontal terhadap balok pada setiap lantainya.



Gambar 5.10 Pembebanan angin pada permodelan struktur

Dari gambar 5.9, beban desain terhadap balok adalah beban perlintai (N/m^2) dikalikan dengan tinggi perlintai (m) maka didapat beban merata yang akan dibebankan pada balok.

5.2.4 Kombinasi Pembebanan

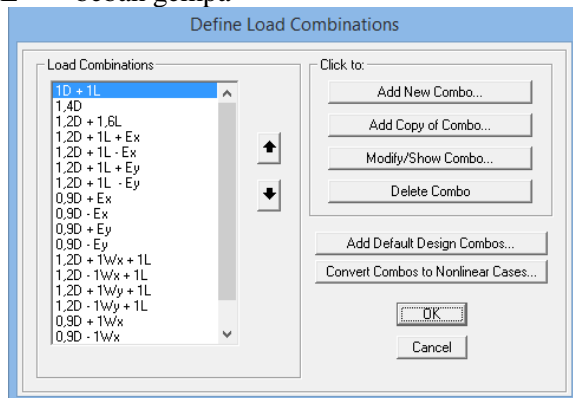
Kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan *SNI 1727-2013 Ps. 2.3* sebagai berikut:

- $1D + 1L$
- $1,4D$
- $1,2D + 1,6L$
- $1,2D \pm 1W_x + 1L$
- $1,2D \pm 1W_y + 1L$
- $0,9D \pm 1W_x$
- $0,9D \pm 1W_y$
- $1,2D + 1L \pm E_x$
- $1,2D + 1L \pm E_y$
- $0,9D \pm 1,0E_x$
- $0,9D \pm 1,0E_y$

dimana,

D = beban mati L = beban hidup

E = beban gempa



Gambar 5.11 Kombinasi Pembebanan dalam SAP 2000

5.3 Kontrol Desain Struktur

5.3.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga

partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 v14 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 5.8 berikut :

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	34	0.139419	0.9021	0.87
MODAL	Mode	35	0.133995	0.90909	0.87025
MODAL	Mode	36	0.131466	0.90992	0.87231
MODAL	Mode	37	0.128114	0.91334	0.87749
MODAL	Mode	38	0.126518	0.91373	0.91215
MODAL	Mode	39	0.120699	0.91476	0.91228
MODAL	Mode	40	0.119761	0.91476	0.9136

Tabel 5.5 Rasio Partisipasi Massa

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90,2% pada moda ke 34 dan partisipasi massa arah Y sebesar 91,2% pada moda ke 38. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

5.3.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Periode waktu getar (T) suatu gedung dibatasi untuk mencegah struktur agar tidak terlalu fleksibel. Berdasarkan SNI 1726 2012 Ps. 7.8.2.1 batasan periode ditentukan dengan persamaan,

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

dimana h_n adalah ketinggian struktur , C_t dan x adalah koefisien yang didapat dari tabel 15 SNI 1726 2012. Untuk gedung dengan sistem ganda digunakan sistem struktur lainnya.

Tipe struktur	C_i	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 "	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 "	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 "	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 "	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 "	0,75

Tabel 5.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai S_{D1} yang terdapat pada tabel 14 SNI 1726 2012 berikut.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_w	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 5.7 Koefisien batas atas pada periode

$$T_{\text{batas bawah}} = 0,0488 \times 80^{0,75} = 1,3054 \text{ detik}$$

$$T_{\text{batas atas}} = T_{\text{batas bawah}} \times C_u$$

$$= 1,3054 \times 1,4 = 1,8275 \text{ detik}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapatkan hasil periode dan frekuensi struktur seperti tabel 13 berikut.

OutputCase Text	ItemType Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	98.6023
MODAL	Acceleration	UY	100	98.333
MODAL	Acceleration	UZ	92.9032	58.6071

Tabel 5.8 Modal Load Participation Ratio

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec
MODAL	Mode	1	2.381566
MODAL	Mode	2	2.074324
MODAL	Mode	3	1.383055
MODAL	Mode	4	0.698678
MODAL	Mode	5	0.62804

Tabel 5.9 Periode Waktu Fundamental Struktur

Dari tabel diatas didapat nilai periode struktur gedung adalah 2,38 detik. Maka berdasarkan kontrol batas atas dan bawah periode,

$T_{bawah} = 1,3054 < T_{SAP} = 2,38 > T_{atas} = 1,8275$ periode gedung melebihi batasan yang ditetapkan.

Menurut SNI 1726 2012 Ps. 7.9.4.1 apabila periode gedung melebihi batasan

- Jika $T_c > C_u \times T_a$ maka digunakan $T = C_u \times T_a$
- Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka digunakan $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Keterangan :

T_c : Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisa struktur

Maka periode yang digunakan adalah $T_{atas} = 1,8275$

5.3.3 Kontrol Gaya Gempa Dasar Struktur

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Ps.7.8.1 , nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah :

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana, C_s = Koefisien

W = Berat Struktur

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,593}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,085$$

Nilai C_s di atas nilainya tidak perlu diambil lebih kecil dari:

$$\begin{aligned} C_{s_{min}} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot 0,593 \cdot 1 \\ &= 0,026 \end{aligned}$$

Nilai C_s di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$C_{s_{max}} = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,427}{1,921\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,03175$$

$$C_{s_{min}} = 0,026 < C_s = 0,085 > C_{s_{max}} = 0,03175$$

Maka dipakai $C_s = 0,03175$.

Dari permodelan struktur menggunakan SAP didapatkan nilai berat total struktur Gedung Tirta Kencana Tatawarna Surabaya adalah :

OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
1D + 1L	Combination	578.04	-150.16	21338767.44

Dari tabel diatas didapatkan berat struktur sebesar 21338767 Kg

$$V_{\text{statik}} = C_s \cdot W = 0,033 \times 21338767 = 704179,31 \text{ Kg}$$

Dari hasil analisis SAP didapatkan gaya geser (*base shear*) gedung :

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf
RSX	LinRespSpec	Max	326275.17	141692.95
RSY	LinRespSpec	Max	147300.67	297611.79

Tabel 5.10 Gaya Geser Total Gedung Terhadap Gaya Gempa

Kontrol :

- Gempa Arah X
 $V_{\text{dinamik}} (?) 0,85 \cdot V_{\text{statik}}$
 $326275,17 \text{ Kg} (?) 0,85 \cdot 704179,31 \text{ kg}$
 $326275,17 \text{ Kg} < 598552,41 \text{ Kg} \dots\dots\dots(\text{OK})$
- Gempa Arah Y
 $V_{\text{dinamik}} (?) 0,85 \cdot V_{\text{statik}}$
 $297611,79 \text{ Kg} (?) 0,85 \cdot 704179,31 \text{ kg}$
 $297611,79 \text{ Kg} < 598552,41 \text{ Kg} \dots\dots\dots(\text{OK})$

5.3.4 Kontrol Sistem Ganda (Dual System)

Berdasarkan SNI 1726 2012 Ps. 7.2.5.1 bahwa untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% dari gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Dengan ketentuan diatas, melalui program SAP 2000 gaya geser dasar yang diterima shearwall dapat diketahui pada perletakan dinding pada lantai paling dasar. Untuk

gaya geser dasar yang diterima rangka pemikul momen dihitung berdasarkan selisih gaya geser total dan geser yang diterima dinding geser. Berikut contoh perhitungan untuk mencari prosentase penerimaan beban gempa.

SectionCut Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	F1 Kgf	F2 Kgf
SW1-ALL	RSX	LinRespSpec	Max	214542.99	37267.73
SW1-ALL	RSY	LinRespSpec	Max	93336.43	93743.04

Tabel 5.11 Gaya Geser yg Diterima Dinding

Gaya geser yang diterima rangka :

Gaya geser dasar total – Gaya geser yang diterima dinding

$$326275,17 - 214542,99 = 111732,18$$

Prosentase rangka memikul beban gempa :

$$\frac{111732,18}{326275,17} \times 100\% = 34,24\%$$

Untuk perhitungan prosentase dengan kombinasi pembebanan yang berbeda disajikan dalam tabel berikut.

No.	Kombinasi Pembebanan	Persentase Menahan Gempa (%)			
		Fx		Fy	
		SRPM	SW	SRPM	SW
1	RSX	34,24	67,76	88,66	11,34
2	RSY	74,10	25,90	71,48	28,52
3	1,2DL + 1,0Ex + 1,0LL	41,52	58,48	84,44	15,56
4	1,2DL + 1,0Ey + 1,0LL	75,16	24,84	67,26	32,74
5	0,9DL + 1,0Ex	40,82	59,18	86,40	13,60
6	0,9DL + 1,0Ey	74,45	25,55	69,22	30,78

Tabel 5.12 Presentase Rangka dan Dinding Menahan Gaya Gempa

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa rangka pemikul momen telah melebihi 25% beban gempa yang diterima sehingga gedung memenuhi syarat sebagai gedung dengan sistem ganda.

5.3.5 Kontrol Simpangan Antar Lantai (Drift)

Selain untuk mencegah kerusakan struktural, faktor keamanan dan kenyamanan penghuni gedung menjadi alasan untuk dilakukan pemeriksaan terhadap simpangan yang terjadi antar lantai.

Berdasarkan *SNI 1726 2012 Ps. 7.9.3* persyaratan simpangan antar lantai adalah :

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana, - Δ_i adalah simpangan yang terjadi

$$\Delta_i = C_d \times \delta_{e1} / I$$

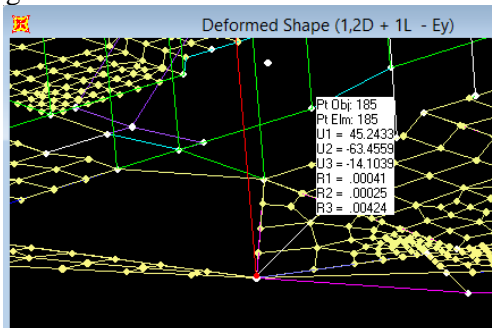
- Δ_a adalah batas simpangan

Untuk gedung dengan sistem ganda menurut SNI 1726 2012 tabel 9 :

$$\Delta_a = 0,02 h_{sx}$$

Dimana, h_{sx} = Ketinggian lantai yg ditinjau

Dari hasil analisis SAP 2000 akibat beban gempa yang dikombinasikan dengan beban gravitasi lain, diperoleh simpangan antar lantai.



Gambar 5.12 Contoh simpangan yang terjadi lantai 19

Peninjauan simpangan dipilih titik sejajar antai lantai dan dipilih simpangan yang terbesar.

Lantai	Elevasi (mm)	Tinggi Lantai (mm)	Simpangan (mm)	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Kontrol
	h_i	h_{sx}	σ_e	σ	Δ	Δ_a	
i		$h_i - h_{(i-1)}$		$\sigma_e \times C_d / I$	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$	$0,02 \times h_{sx}$	$\Delta < \Delta_a$
Dasar	0	0	0	0	0	0	-
1	4000	4000	0.599	3.296	3.296	80	OK
2	8000	4000	3.120	17.161	13.865	80	OK
3	12000	4000	6.763	37.195	20.034	80	OK
4	16000	4000	11.477	63.125	25.930	80	OK
5	20000	4000	16.625	91.439	28.314	80	OK
6	24000	4000	21.954	120.748	29.309	80	OK
7	28000	4000	27.152	149.334	28.586	80	OK
8	32000	4000	32.020	176.111	26.777	80	OK
9	36000	4000	36.494	200.718	24.607	80	OK
10	40000	4000	40.638	223.507	22.789	80	OK
11	44000	4000	44.424	244.330	20.823	80	OK
12	48000	4000	47.806	262.933	18.603	80	OK
13	52000	4000	50.831	279.572	16.639	80	OK
14	56000	4000	53.574	294.656	15.085	80	OK
15	60000	4000	56.060	308.329	13.672	80	OK
16	64000	4000	58.338	320.857	12.529	80	OK
17	68000	4000	60.347	331.908	11.051	80	OK
18	72000	4000	62.030	341.164	9.256	80	OK
19	76000	4000	63.456	349.007	7.843	80	OK
20	80000	4000	64.680	355.740	6.732	80	OK
ATAP	84000	4000	65.801	361.903	6.164	80	OK

Tabel 5.13 Kontrol simpangan antar lantai (drift)

Dilihat dari tabel hasil analisis simpangan bahwa simpangan yang terjadi di setiap lantai keseluruhannya telah memenuhi syarat simpangan yang ditentukan.

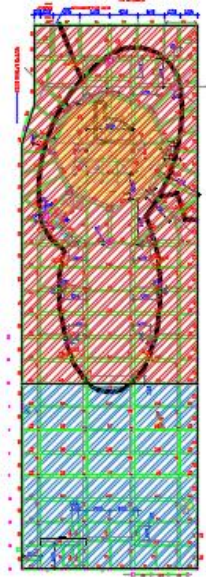
BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR BETON SEKUNDER

6.1 Perhitungan Pelat

6.1.1 Pembagian Zona Pelat Lantai

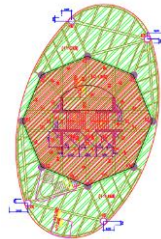
Pembagian zona pada bangunan ini adalah berdasarkan beban hidup yang akan ditumpu. Berikut pembagian zona pelat.



a.



b.



c.

Gambar 6.1 Zona Pembagian Pelat Lantai

a.) Denah Lantai 1 b.) Denah Lantai 3 c.) Denah Lantai 4-20

Pada gambar 26 terdapat 3 beberapa zona yang dibagi menurut beban hidup yang diterima. Berikut penjelasan setiap gambar.

- a. Bagian arsiran biru merupakan lahan parkir atau tempat dimana kendaraan berlalu. Bagian arsiran merah adalah lobi lantai pertama gedung.
- b. Bagian arsiran berwarna hijau adalah balkon/dek. Bagian arsiran berwarna biru adalah pelat lantai struktur utama gedung.
- c. Bagian arsiran berwarna hijau adalah pelat lantai struktur sekunder yang ditumpu oleh balok baja. Bagian arsiran berwarna merah adalah pelat lantai struktur utama yang ditumpu oleh balok beton bertulang yang merupakan kekuatan utama dari gedung.

Namun untuk perhitungan penulangan, pelat dibedakan berdasarkan bentuknya yaitu *irregular slab* (pelat tidak beraturan) dan *regular slab* (Pelat biasa yang berbentuk persegi atau persegi panjang).

a. *Irregular Slab*

Penulangan pelat berdasarkan momen tumpuan dan momen lapangan dipilih yang terbesar baik dari arah sumbu x maupun y . Hasil momen didapat dari perhitungan program SAP 2000. Tulangan pelat dibagi menjadi 2 bagian yaitu tulangan pelat bagian atas yang menahan momen negatif dan tulangan pelat bagian bawah yang menahan pelat positif. Untuk tulangan pelat bagian atas akan didesain rata artinya tidak ada pemotongan didaerah momen positif agar memudahkan dalam pelaksanaan.

b. *Regular Slab*

Pelat lantai yang berbentuk pada umumnya yaitu persegi atau persegi panjang. Hasil momen yang didapat berdasarkan rumus PBI dimana momen tumpuan sumbu x maupun y dibedakan.

6.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

A. Pelat Lantai Struktur Utama

1. Beban Mati (DL)

- Spesi Lantai (1 cm)	:21	Kg/m ²
- Tegel	:24	Kg/m ²
- Plafond	:11	Kg/m ²
- Penggantung plafon	:7	Kg/m ²
- <u>Ducting Plumbing(Taksiran)</u>	:30	Kg/m ²
Total DL	: 93	Kg/m ²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup ruang kantor	: 250	Kg/m ²
- <u>Beban partisi</u>	: 72	kg/m ²
Total LL	: 322	Kg/m ²

B. Pelat Lantai Struktur Sekunder

1. Beban Mati (DL)

- Spesi Lantai (1 cm)	:21	Kg/m ²
- Tegel	:24	Kg/m ²
- Plafond	:11	Kg/m ²
- Penggantung plafon	:7	Kg/m ²
- <u>Ducting Plumbing (Taksiran)</u>	:30	Kg/m ²
Total DL	: 93	Kg/m ²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup ruang kantor	: 250	Kg/m ²
- <u>Beban partisi</u>	: 72	kg/m ²
Total LL	: 322	Kg/m ²

C. Pelat Lantai Balkon

1. Beban Mati (DL)

- Spesi Lantai (1 cm)	:21	Kg/m ²
- Tegel	:24	Kg/m ²
- <u>Ducting Plumbing(Taksiran)</u>	:30	Kg/m ²
Total DL	: 75	Kg/m ²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup balkon	: 300	Kg/m ²
----------------------	-------	-------------------

D. Pelat Lantai Lahan Parkir

1. Beban Mati (DL)

- Spesi Lantai (3 cm)	: 63	Kg/m ²
- <u>Ducting Plumbing(Taksiran)</u>	: 30	Kg/m ²
Total DL	: 93	Kg/m ²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup lahan parkir : 300 Kg/m²

E. Pelat Lobi

1. Beban Mati (DL)

- Tambahan cor lantai (15cm) : 360 Kg/m²

- Tegel : 24 Kg/m²

- Ducting Plumbing (Taksiran) : 30 Kg/m²

Total DL : 414 Kg/m²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup : 500 Kg/m²

F. Pelat Atap

1. Beban Mati (DL)

- Spesi Lantai (1 cm) : 21 Kg/m²

- Plafond : 11 Kg/m²

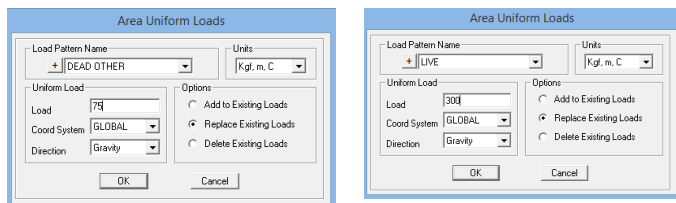
- Penggantung plafon : 7 Kg/m²

- Ducting Plumbing (Taksiran) : 30 Kg/m²

Total DL : 69 Kg/m²

2. Beban Hidup (LL)

- Beban hidup atap : 100 Kg/m²



Gambar 6.2 Contoh Input Beban Pelat Lantai (Balkon)

6.1.3 Perhitungan Penulangan Pelat

a. Irregular Slab

Berikut tahapan perhitungan tulangan diambil contoh dari **pelat utama** struktur bangunan.

A. Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 240 MPa

- Diameter Tulangan = 10 mm (Arah Sb. X)
= 10 mm (Arah Sb. Y)
- Selimut beton = 20 mm
- Tebal Pelat = 120 mm
- Momen Tumpuan = 12287265 Nmm
- Momen Lapangan = 8241800 Nmm
- d(Longitudinal) Arah X= 120–20– ½10= 95 mm
Arah Y= 120-20-10-½10=85 mm
- β_1 = $0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7}$
= 0,836
- m = $\frac{f_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,41$

B. Penulangan Longitudinal Tumpuan

- ρb = $\frac{0,85 \beta_1 f_{c'} \left(\frac{600}{600+f_y} \right)}{f_y}$
= $\frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{240} \left(\frac{600}{600+240} \right)$
= 0,063
- $\rho \max$ = $0,75 \rho b = 0,0476$
- $\rho \min$ = $\frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583$
= $\frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = 0,00571$ (dipilih)
- Mn = $\frac{Mu}{\phi} = \frac{12287265}{0,75}$
= 16383020 Nmm
- Rn = $\frac{Mn}{bd^2} = \frac{16383020}{1000 \times 95^2} = 1,815$
- ρ = $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$
= $\frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,815}{240}} \right)$
= 0,00785

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00583 < 0,00785 < 0,0476$$

$$\text{Digunakan } \rho_{\text{hitung}} = 0,00785$$

- As pakai = $\rho \times 1000 \times d$
 $= 0,00785 \times 1000 \times 95 = 746,13 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 746,13 / 78,54$
 $= 10 \text{ buah}$ Jarak tulangan (s) = $1000 / 10 = 100 \text{ mm}$
- S mak = 3 x tebal pelat = 300 mm
 $= 450 \text{ mm}$

Jarak yang digunakan 100 mm < 300 mm (ok)

C. Penulangan Longitudal Lapangan

- Mn = $\frac{Mu}{\phi} = \frac{8241800}{0,75}$
 $= 10989066.67 \text{ Nmm}$
- Rn = $\frac{Mn}{bd^2} = \frac{10989066.67}{1000 \times 95^2} = 1,218$
- $\rho = \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,218}{240}} \right)$
 $= 0,0052$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$$

$$0,00571 > 0,0052$$

- As pakai = $0,00571 \times 1000 \times 95 = 542,017 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $5542,017 / 78,54 = 7 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 7 = 140 \text{ mm}$
- S mak = 3 x tebal pelat = 300 mm (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$

Jarak yang digunakan 100 mm < 300 mm (ok)

- As pasang = $\frac{1}{4} \pi 10^2 \times 5 = 392,7 \text{ mm}^2 > \text{As perlu}$

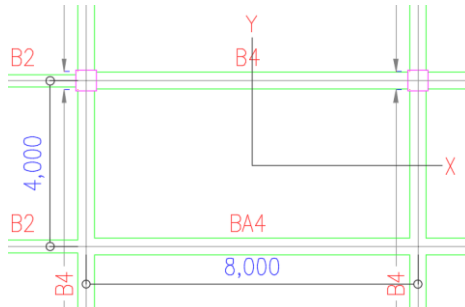
Jadi digunakan tulangan lentur **D10 – 100**

Dengan perhitungan yang sama untuk pelat yang lainnya hasilnya adalah sebagai berikut.

Nama Pelat		Diameter Tulangan		Mutu Tulangan		Tebal Pelat	dy	dx	Tulangan Pakai
		Pilihan	mm	Pilihan	fy	mm	mm	mm	
					MPa				
Pelat Atap	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	100	75.0	65.0	D10-200
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	100	75.0	65.0	D10-200
	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	100	75.0	65.0	D10-200
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	100	75.0	65.0	D10-200
Pelat Utama	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-100
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-100
	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-100
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-100
Pelat Lobi	Arah X	D12	12	BJ TD 24	240	150	124.0	112.0	D12-90
	Arah Y	D12	12	BJ TD 24	240	150	124.0	112.0	D12-90
	Arah X	D12	12	BJ TD 24	240	150	124.0	112.0	D12-100
	Arah Y	D12	12	BJ TD 24	240	150	124.0	112.0	D12-100
Pelat Sekunder	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-120
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-120
	Arah X	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-120
	Arah Y	D10	10	BJ TD 24	240	120	95.0	85.0	D10-120

Tabel 6.1 Penulangan Irregular Slab

b. Regular Slab
- Pelat Parkir



Gambar 6.3 Pelat Parkir (Regular Slab)

A. Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 240 MPa
- Diameter Tulangan = 10 mm (Arah Sb. X)
= 10 mm (Arah Sb. Y)
- Panjang Pelat = 8000 mm
- Lebar Pelat = 4000 mm
- L_x = $8000 - \left(\frac{400+400}{2}\right)$
= 7600 mm
- L_y = $4000 - \left(\frac{400+400}{2}\right)$
= 3600 mm
- Tipe Pelat = $l_x / l_y = 7600/3600$
= 2,1
- Selimut beton = 20 mm
- Tebal Pelat = 120 mm
- $d(\text{Longitudinal})$ $d_y = 120 - 20 - \frac{1}{2}10 = 95 \text{ mm}$
 $d_x = 120 - 20 - 10 - \frac{1}{2}10 = 85 \text{ mm}$
- β_1 = $0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7}$
= 0,836
- m = $\frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{240}{0,85 \cdot 30} = 9,41$

B. Data Gaya Dalam (Momen)

Perhitungan momen pelat menggunakan koefisien momen pada *PBI 1971 Tabel 13.3.1* dengan perbandingan $l_y/l_x = 2,1$

Sumbu X

- Momen Lapangan = $0,001 \times 911,6/\text{m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 11$
= 160,44 kgm
= 1604416 Nmm
- Momen Tumpuan = $0,001 \times 911,6/\text{m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 57$
= 831,3792 kgm
= 8313792 Nmm

Sumbu Y

- Momen Lapangan = $0,001 \times 911,6/\text{m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 41$
= 598,0096 kgm
= 5980096 Nmm
- Momen Tumpuan = $0,001 \times 911,6/\text{m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 83$
= 1210,6048 kgm
= 12106048 Nmm

C. Perhitungan Tulangan Lapangan Sumbu X

- ρb

$$= \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right)$$

$$= 0,063$$
- $\rho \text{ max}$ = $0,75 \rho b$ = 0,0476
- $\rho \text{ min}$

$$= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = 0,0057 \text{ (dipilih)}$$
- Mn
$$= \frac{Mu}{\phi} = \frac{1604416}{0,75}$$

$$= 2139221,33 \text{ Nmm}$$
- Rn
$$= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{2139221,33}{1000 \times 85^2} = 0,29$$
- ρ

$$= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,29}{240}} \right)$$

$$= 0,0012$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$$

$$0,00583 > 0,0012$$

Maka digunakan ρ_{\min}

- As pakai = $\rho \times 1000 \times d$
 $= 0,00583 \times 1000 \times 85 = 495,55 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 495,55 / 78,54$
 $\approx 7 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 7 = 142 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$
- S mak = $3 \times \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$ (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$

Jarak yang digunakan $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (ok)

- As pasang = $\frac{1}{4} \pi 10^2 \times 7 = 549,78 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}}$

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10 – 120**

D. Perhitungan Tulangan Tumpuan Sumbu X

- Mn = $\frac{Mu}{\phi} = \frac{8313792}{0,75}$
 $= 11085056 \text{ Nmm}$
- Rn = $\frac{Mn}{bd^2} = \frac{11085056}{1000 \times 85^2} = 1,53$
- $\rho = \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,53}{240}} \right)$
 $= 0,00658$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00583 < 0,00658 < 0,04887$$

Maka digunakan ρ_{hitung}

- As pakai = $\rho \times b \times d$
 $= 0,00658 \times 1000 \times 85 = 559,3 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 559,3 / 78,54$
 $= 7,1 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 8 \approx 125 \text{ mm}$
- S mak = $3 \times \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$ (menentukan)

$$= 450 \text{ mm}$$

Jarak yang digunakan 120 mm < 300 mm (ok)

$$\bullet \text{ As}_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 8 = 628,32 \text{ mm}^2 > \text{As}_{\text{perlu}}$$

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10-120**

E. Perhitungan Tulangan Lapangan Sumbu Y

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Mn} &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{5980096}{0,75} \\ &= 7973461,33 \text{ Nmm} \\ \bullet \text{ Rn} &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{7973461,33}{1000 \times 95^2} = 0,88 \\ \bullet \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,88}{240}} \right) \\ &= 0,00375 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$$

$$0,00583 > 0,00375$$

Maka digunakan ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \bullet \text{ As pakai} &= \rho \times 1000 \times d \\ &= 0,00583 \times 1000 \times 95 = 553,85 \text{ mm}^2 \\ \bullet \text{ Jumlah tulangan} &= \text{As} / \pi r^2 = 553,85 / 78,54 \\ &\approx 8 \text{ buah} \\ \bullet \text{ Jarak tulangan (s)} &= 1000 / 8 = 125 \text{ mm} \\ \bullet \text{ S mak} &= 3 \times \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm (menentukan)} \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak yang digunakan 100 mm < 300 mm (ok)

$$\bullet \text{ As}_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 10 = 785,4 \text{ mm}^2 > \text{As}_{\text{perlu}}$$

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10 – 100**

F. Perhitungan Tulangan Tumpuan Sumbu Y

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Mn} &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{12106048}{0,75} \\ &= 16141397,33 \text{ Nmm} \\ \text{Rn} &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{16141397,33}{1000 \times 95^2} = 1,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bullet \rho &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,79}{240}} \right) \\ &= 0,00774\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max} \\ 0,00583 &< 0,00774 < 0,04887\end{aligned}$$

Maka digunakan ρ_{hitung}

- As pakai = $\rho \times b \times d$
= $0,00774 \times 1000 \times 95 = 735,3 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 735,3 / 78,54$
= 8,2 buah ≈ 9 buah
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 9 \approx 100 \text{ mm}$
- S mak = 3 x tebal pelat = 300 mm (menentukan)
= 450 mm

Jarak yang digunakan 100 mm < 300 mm (ok)

- As pasang = $\frac{1}{4} \pi 10^2 \times 10 = 785,4 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}}$

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10-100**

G. Perhitungan Tulangan Pembagi

- ρ ($f_y = 240 \text{ MPa} < 280 \text{ MPa}$) = 0,0014
- As pakai = $\rho \times b \times d$
= $0,0014 \times 1000 \times 95 = 133 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 133 / 78,54 \approx 2$ buah
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 2 = 500 \text{ mm}$
- S mak = 5 x tebal pelat = 500 mm
= 450 mm (menentukan)

Jarak yang digunakan 300 mm

- Digunakan tulangan susut **Ø10 – 300**

Tulangan susut dipasang 0,2ln dari muka bagian balok – balok penumpu ke arah lapangan pelat.

$$\begin{aligned}\text{Arah sumbu X} &= 0,2 (8000 - \frac{1}{2} 400 - \frac{1}{2} 400) \\ &= 0,2 (7600) = 1520 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Arah Sumbu Y} &= 0,2 (4000 - \frac{1}{2} 400 - \frac{1}{2} 400) \\ &= 0,2 \times 3600 = 720 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Pelat Balkon

A. Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 240 MPa
- Diameter Tulangan = 10 mm (Arah Sb. X)
= 10 mm (Arah Sb. Y)
- Panjang Pelat = 4000 mm
- Lebar Pelat = 4000 mm
- L_x = $4000 - \left(\frac{400+400}{2}\right)$
= 3600 mm
- L_y = $4000 - \left(\frac{400+400}{2}\right)$
= 3600 mm
- Tipe Pelat = $l_y / l_x = 3600/3600$
= 1 (Tipe Dua Arah)
- Selimut beton = 20 mm
- Tebal Pelat = 120 mm
- d(Longitudinal) $dx = 120 - 20 - \frac{1}{2}10 = 95$ mm
 $dy = 120 - 20 - 10 - \frac{1}{2}10 = 85$ mm
- β_1 = $0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7}$
= 0,836
- m = $\frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{240}{0,85 \cdot 30} = 9,41$

B. Data Gaya Dalam (Momen)

Perhitungan momen pelat dua arah menggunakan koefisien momen pada *PBI 1971 Tabel 13.3.1* dengan perbandingan $l_y/l_x = 1$

- Sumbu X = Sumbu Y (karena berbentuk persegi)
Momen Lapangan = $0,001 \times 915,6 \times (4)^2 \times 21$
= 307,641 kgm
= 3076410 Nmm
- Momen Tumpuan = $0,001 \times 915,6 \times (4)^2 \times 52$
= 761,7792 kgm
= 7617792 Nmm

C. Perhitungan Tulangan Tumpuan Sb. X

$$\begin{aligned}
\bullet \rho b &= \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\
&= 0,063 \\
\bullet \rho_{\max} &= 0,75 \rho b = 0,0476 \\
\bullet \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583 \\
&= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} = 0,0057 \text{ (dipilih)} \\
\bullet M_n &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{7617792}{0,75} \\
&= 10157056 \text{ Nmm} \\
\bullet R_n &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{10157056}{1000 \times 95^2} = 1,125 \\
\bullet \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,125}{240}} \right) \\
&= 0,00479
\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$$

$$0,00583 > 0,00479$$

Maka digunakan ρ_{\min}

- As pakai = $\rho \times 1000 \times d$
 $= 0,00583 \times 1000 \times 95 = 553,85 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 553,85 / 78,54$
 $= 7,1 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 8 = 125 \text{ mm}$
- S mak = $2 \times \text{tebal pelat} = 240 \text{ mm}$ (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$

Jarak yang digunakan $120 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ (ok)

- As pasang = $\frac{1}{4} \pi 10^2 \times 8 = 628,32 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}}$

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10 – 120**

D. Perhitungan Tulangan Lapangan Sb.X

$$\bullet M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3076410}{0,75}$$

- $R_n = 4101880 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{4101880}{1000 \times 95} = 0,45$
- $\rho = \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,45}{240}} \right)$
 $= 0,0019$
- $\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$
 $0,00583 > 0,0019$
- As pakai $= \rho \times b \times d$
 $= 0,00583 \times 1000 \times 76 = 442,839 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan $= As / \pi r^2 = 553,85 / 78,54$
 $= 7,1 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) $= 1000 / 8 = 125 \text{ mm}$
- S mak $= 2 \times \text{tebal pelat} = 240 \text{ mm}$ (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$
- Jarak yang digunakan $120 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ (ok)
- As pasang $= \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 8 = 628,32 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}}$
- Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10 – 120**

E. Perhitungan Tulangan Tumpuan Sb. Y

- $M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7617792}{0,75}$
 $= 10157056 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{10157056}{1000 \times 85^2} = 1,405$
- $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$
 $= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,405}{240}} \right)$
 $= 0,00657$
- $\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$
 $0,00583 < 0,00603 < 0,0487$
- Maka digunakan ρ_{hitung}
- As pakai $= \rho \times 1000 \times d$
 $= 0,00603 \times 1000 \times 85 = 512,43 \text{ mm}^2$

- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 512,43 / 78,54 = 6,5$
 - Jarak tulangan (s) = $1000 / 6,5 = 153 \approx 150$ mm
 - S mak = 3 x tebal pelat = 300 mm (menentukan)
= 450 mm
- Jarak yang digunakan 150 mm < 300 mm (ok)
Jadi digunakan tulangan lentur **Ø10 - 150**

F. Perhitungan Tulangan Lapangan Sb.Y

- $Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3076410}{0,75} = 4101880$ Nmm
- $Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{4101880}{1000 \times 85^2} = 0,568$
- $\rho = \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,568}{240}} \right) = 0,00239$

$$\rho_{min} > \rho_{hitung}$$

$$0,00583 > 0,0039$$

- As pakai = $\rho \times b \times d = 0,00583 \times 1000 \times 85 = 495,55$ mm²
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 495,55 / 78,54 = 6,3$
- Jarak tulangan (s) = $1000 / 6,3 = 158$ mm ≈ 150 mm
- S mak = 3 x tebal pelat = 300 mm (menentukan)
= 450 mm

Jarak yang digunakan 150 mm < 300 mm (ok)

Jadi digunakan tulangan lentur **Ø 10 – 150**

G. Tulangan pembagi

$$\text{Luas tulangan bagi} = 0,0014 \times 1000 \times 85 = 119 \text{ mm}^2$$

$$\text{Direncanakan } \phi 10 - 300 = 235,62 \text{ mm}^2 > 119 \text{ mm}^2$$

Tulangan susut dipasang 0,2ln dari muka bagian balok – balok penumpu ke arah lapangan pelat.

$$\text{Arah sumbu } X = Y = 0,2 (4000 - \frac{1}{2} 500 - \frac{1}{2} 400)$$

$$= 0,2 \times 3500 = 710 \text{ mm}$$

6.2 Perhitungan Tangga

6.2.1 Pembebanan Tangga dan Bordes

• Tangga

Beban Mati (D)

- Pelat tangga = $0,1963m \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1m = 471,12 \text{ kg/m}$
 - Tegel = $1m \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}$
 - Spesi (1 cm) = $1m \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}$
 - Sandaran = 30 kg/m
- Total = 546,12 kg/m

Beban Hidup (L)

- Beban Hidup Tangga = $1m \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 546,12 + 1,6 \times 500 \\ &= 1455,344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

• Bordes

Beban Mati (D)

- Pelat Bordes = $0,12m \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1m = 288 \text{ kg/m}$
 - Tegel = $1m \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}$
 - Spesi (1 cm) = $1m \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}$
 - Sandaran = 30 kg/m
- Total = 363 kg/m

Beban Hidup (L)

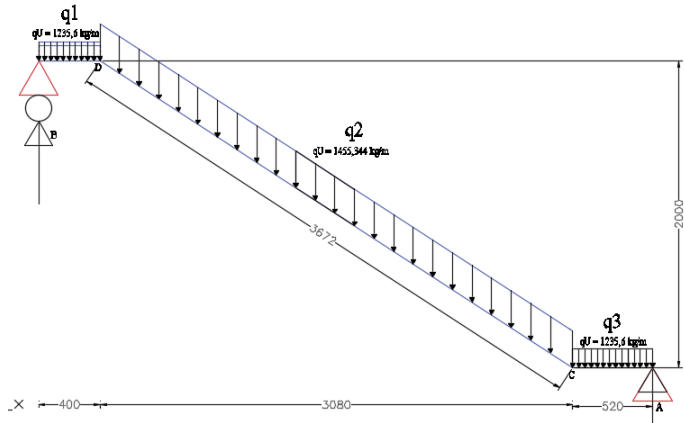
- Beban Hidup Tangga = $1m \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 363 + 1,6 \times 500 \\ &= 1235,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

6.2.2 Perhitungan Gaya pada Tangga

Perhitungan gaya pada tangga menggunakan metode mekanika teknis statis perletakan sendi – rol.



Gambar 6.4 Permodelan struktur tangga darurat

$$\sum M_b = 0 ,$$

$$-V_a \cdot 4 + (q_3 \times 0,52) 3,74 + (q_2 \times 3,672) 1,94 + (q_1 \times 0,4) 0,2 = 0$$

$$-V_a \cdot 4m + (1235,6 \text{ kg/m} \times 0,52m) 3,74m + (1455,344 \text{ kg/m} \times 3,672m) 1,94m + (1235,6 \text{ kg/m} \times 0,4m) 0,2m = 0$$

$$V_a = \frac{2403 \text{ kgm} + 10367,41 \text{ kgm} + 98,85 \text{ kgm}}{4m} = 3217,31 \text{ kg}$$

$$\sum M_a = 0 ,$$

$$V_b \cdot 4 - (q_3 \times 0,52) 0,26 - (q_2 \times 3,672) 2,06 - (q_1 \times 0,4) 3,8 = 0$$

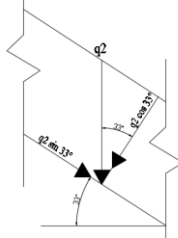
$$V_b \cdot 4m - (1235,6 \text{ kg/m} \times 0,52m) 0,26m - (1455,3 \text{ kg/m} \times 3,672m) 2,06m - (1235,6 \text{ kg/m} \times 0,4m) 3,8m = 0$$

$$V_b = \frac{167,05 \text{ kgm} + 11008,7 \text{ kgm} + 1878,11 \text{ kgm}}{4m} = 3263,462 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_a + V_b - q_1 - q_2 - q_3 = ?$$

$$3263,462 + 3217,31 - (1235,6 \times 0,4) - (1455,344 \times 3,672) - (1235,6 \times 0,52) = 0 \text{ (OK)}$$



Gaya Normal

-Bidang A-C

$$N_{AC} = 0$$

-Bidang C-D

$$\begin{aligned} N_C &= V_A \cdot \sin \alpha - q_3 \cdot 0,52 \cdot \sin \alpha - q_2 \cdot 3,672 \cdot \sin \alpha \\ &= 3217,32 \times \sin 33^\circ - 1235,6 \times 0,52 \times \sin 33^\circ - \\ &\quad 1455,344 \text{ kg/m} \times 3,672 \text{ m} \times \sin 33^\circ \\ &= -1508,23 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_D &= q_2 \cdot 3,672 \cdot \sin \alpha + N_C \\ &= 1455,344 \text{ kg/m} \times 3,672 \text{ m} \times \sin 33^\circ - 1508,23 \\ &= 1402,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

-Bidang D-B

$$N_{DB} = 0$$

Gaya Lintang

-Bidang A-C

$$x = 0 \quad \rightarrow D_A = V_A = -3217,31$$

$$\begin{aligned} x = 0,52 \quad \rightarrow D_{B \text{ kanan}} &= -V_A + q_3 \cdot x \\ &= -3217,31 + 1235,6 \times 0,52 \\ &= -2574,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

-Bidang C-D

$$\begin{aligned} x = 0 \quad \rightarrow D_{B \text{ kiri}} &= 2574,8 \times \cos 33 \\ &= 2159,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x = 3,08 \quad \rightarrow D_{D \text{ kanan}} &= 2159,41 - q_2 \times \cos \alpha \times 3,672 \\ &= 2159,41 - 1455,344 \times \cos 33^\circ \\ &\quad \times 3,672 \\ &= 2159,41 - 4481,87 \\ &= -2322,46 \text{ kg} \end{aligned}$$

-Bidang B - D

$$\begin{aligned}
 x = 0 & \rightarrow D_B = V_B = 3263,462 \text{ kg} \\
 x = 0,4 & \rightarrow D_{D \text{ kiri}} = V_B - q1 \cdot X \\
 & = 3263,462 - 1235,6 \times 0,4 \\
 & = 2769,22 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen

-Bidang A-C

$$\begin{aligned}
 x = 0 & \rightarrow M_A = 0 \\
 x = 0,52 & \rightarrow M_B = V_A \cdot x - q3 \cdot X \cdot (1/2x) \\
 & = 3217,31 \times 0,52 - \frac{1}{2} 1235,6 \times 0,52^2 \\
 & = 1505,9 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

-Bidang C-D

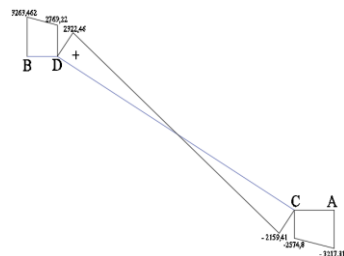
$$\begin{aligned}
 x = 0 & \rightarrow M_B = 1505,9 \text{ kgm} \\
 x = \frac{1}{2} 3,08 & \rightarrow M_{\text{Max}} = V_A \cdot (0,52 + \frac{1}{2} 3,08) - q3 \cdot 0,52 \\
 & \quad (\frac{1}{2} 3,08 + \frac{1}{2} 0,52) - q2 \cdot \frac{1}{2} 3,672 \cdot \frac{1}{4} 3,08 \\
 & = 3217,31 \times 2,06 - 1235,6 \times 0,52 \times 1,8 - 1455,344 \times 1,836 \times 0,77 \\
 & = 3413,7 \text{ kgm} \\
 x = 3,08 & \rightarrow M_D = V_B \cdot 0,4 - \frac{1}{2} q1 \cdot 0,4^2 \\
 & = 3263,462 \times 0,4 - \frac{1}{2} 1235,6 \times 0,4^2 \\
 & = 1206,54 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

-Bidang B - D

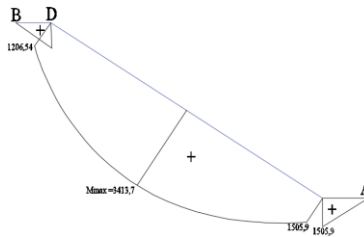
$$\begin{aligned}
 x = 0 & \rightarrow M_B = 0 \\
 x = 0,52 & \rightarrow M_D = 1206,54 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



Gaya Normal



Gaya Lintang



Momen

Gambar 6.5 Diagram gaya dalam tangga

6.2.3 Penulangan Pelat Tangga

A. Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa
- Diameter Tulangan = 12 mm (Longitudinal)
= 10 mm (susut)
- Selimut beton = 20 mm
- Tebal Pelat = 120 mm
- d (Longitudinal) = $120 - 20 - \frac{1}{2} 12 = 94$ mm
- M_n
= $\frac{Mu}{\phi} = \frac{3413,7}{0,9} = 3793$ kgm
= 37930000 Nmm
- β_1
= $0,85 - 0,05 \frac{(f_c' - 28)}{7}$
= 0,8
- m
= $\frac{f_y}{0,85 f_c'} = 13,445$

B. Penulangan Longitudinal

- ρ_b
= $\frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
= $\frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$
= 0,0357
- ρ_{max}
= $0,75 \rho_b = 0,0268$
- ρ_{min}
= $\frac{1,4}{f_y} = 0,0035$
= $\frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} = 0,0037$ (dipilih)

$$\begin{aligned}
 \bullet R_n &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{37930000}{1000 \times 94^2} = 4,293 \\
 \bullet \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,445} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 4,293}{400}} \right) \\
 &= 0,0116
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0116 < 0,0268
 \end{aligned}$$

- $A_s \text{ pakai} = \rho \times 1275 \times d$
 $= 0,0116 \times 1275 \times 94 = 1390,26 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan $= A_s / \pi r^2 = 1390,26 / 113,1$
 $= 12,3$
- Jarak tulangan (s) $= 1275 / 12,3 = 103,7 \approx 100 \text{ mm}$
- S mak $= 2 \times \text{tebal pelat} = 240 \text{ mm}$ (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$
 Jarak yang digunakan $70 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ (ok)
- $A_s \text{ pasang} = \pi 6^2 \times 8 = 1413,72 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu}$
 Jadi digunakan tulangan lentur **Ø12 – 100**

C. Tulangan Geser

Komponen struktur dibebani tekan aksial menurut SNI 2847 2013 pasal 11.2.1.2 adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17x \left(1 + \frac{Nu}{Agx14} \right) x \sqrt{f_c} x b_w x d \\
 V_c &= 0,17x \left(1 + \frac{1508,23}{1275x120x14} \right) x \sqrt{35} x 1400 x 94 \\
 &= 132447,73N \\
 V_n &= \frac{Vu}{\phi} = \frac{32634,62}{0,75} = 43512,83 N
 \end{aligned}$$

$V_c > V_n \rightarrow$ Maka tidak perlu tulangan geser

D. Tulangan Susut

Untuk mutu tulangan 400 MPa digunakan interpolasi.

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0,0018 + (0,002 - 0,0018) \left(\frac{420 - 400}{420 - 350} \right) \\
 &= 0,001857
 \end{aligned}$$

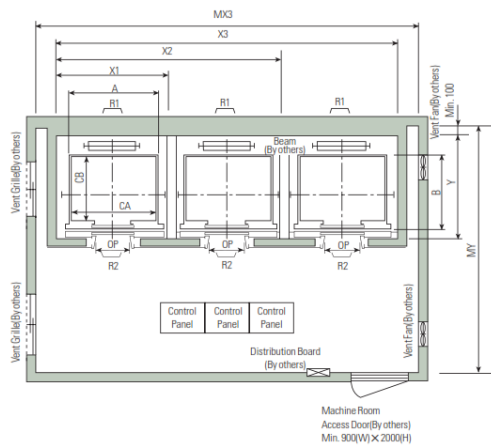
- $A_s \text{ perlu} = \rho \times 1275 \times d$
 $= 0,0011857 \times 3672 \times 94 = 640,977 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $A_s / \pi r^2 = 640,977 / 78,54$
 $= 8,16 \approx 9 \text{ buah}$
- Jarak tulangan (s) = $3672 / 9 = 408 \approx 400 \text{ mm}$
- $S \text{ mak} = 2 \times \text{tebal pelat} = 240 \text{ mm}$ (menentukan)
 $= 450 \text{ mm}$
 Jarak digunakan $400 \text{ mm} > 240 \text{ mm}$ (tidak ok)
 Maka dicoba menggunakan jarak 200 mm
 Jumlah tulangan = $3672 / 200 = 18,4 \approx 19 \text{ buah}$
- $A_s \text{ pasang} = 1/4 \pi 12^2 \times 19 = 2148 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu}$
 Jadi digunakan tulangan lentur **Ø12 – 200**

6.3 Perhitungan Balok Lift

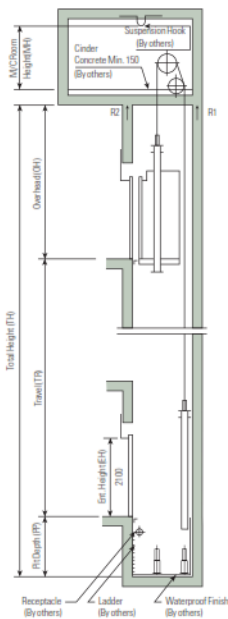
6.3.1 Data Lift

Perencanaan balok lift berikut adalah balok – balok yang berkaitan ruang mesin lift yang berfungsi untuk tempat menopangnya mesin lift dan komponennya. Berikut data – data lift yang digunakan pada bangunan ini :

- Tipe Lift : Lift Penumpang
- Merk : Hyundai Elevators
- Kecepatan : 1,5 m/detik
- Kapasitas : 15 Orang / 1000 Kg
- Lebar Pintu : 900 mm
- Dimensi Ruang
 Luncur (*Hoistway*) : $6350 \times 2130 \text{ mm}^2$
- Dimensi Sangkar (*Car Size*)
 Internal : $1600 \times 1500 \text{ mm}^2$
 Eksternal : $1660 \times 1655 \text{ mm}^2$
- Dimensi Ruang Mesin : $68000 \times 3850 \text{ mm}^2$
- Beban Reaksi Ruang Mesin :
 R1 = 5450 Kg
 R2 = 4300 Kg



Gambar 6.6 Denah Lift



Gambar 6.7 Potongan Melintang Lift

6.3.2 Pembebanan Balok Lift

6.3.2.1 Balok Penggantung Lift

- Beban Merata

Berat Balok Sendiri = $0,3 \times 0,2 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$

Beban ultimate = $1,4 q_D = 1,4 \times 144 = 201,6 \text{ kg}$

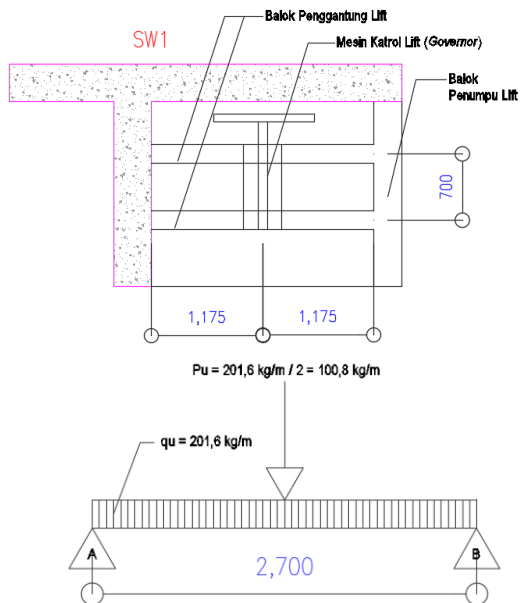
- Beban Terpusat Lift

Berdasarkan *SNI 1727 2013 Pasal 4.6* tentang pembebanan bangunan, beban lift dikategorikan sebagai beban impak. Oleh karena itu beban impak lift yang ditimbulkan dari beban kereta lift dan mesin harus ditambah 50% dari berat yang direncanakan.

$R1 = 5450 (1 + 50\%) = 8175 \text{ kg}$

$R2 = 4300 (1 + 50\%) = 6450 \text{ kg}$

Total Berat Terpusat = 14625 kg



Gambar 6.8 Permodelan struktur balok lift

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P_u \\
 &= \frac{1}{2} 201,6 + \frac{1}{2} 100,8 = 322,46 \text{ kg} \\
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} P_u L \\
 &= \frac{1}{8} 201,6 \cdot 2,7^2 + \frac{1}{4} 100,8 \cdot 2,7 \\
 &= 251,748 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

6.3.2.2 Balok Penumpu Lift

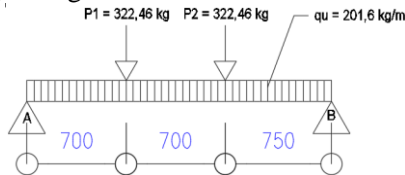
- Beban Merata

$$\text{Berat Balok Sendiri} = 0,4 \times 0,3 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban ultimate} = 1,4 q_D = 1,4 \times 288 = 403,2 \text{ kg}$$

- Beban Terpusat

Beban terpusat yang berasal dari beban penggantung lift.



$$\sum M_b = 0,$$

$$V_a \cdot 2,15 - (201,6 \times 2,15) \cdot 1,075 - (322,46 \times 1,45) - (322,46 \times 0,75) = 0$$

$$V_a = 1175,36 / 2,15 = 546,68 \text{ kg}$$

$$\sum M_a = 0,$$

$$-V_b \cdot 2,15 + (201,6 \times 2,15) \cdot 1,075 + (322,46 \times 1,4) + (322,46 \times 0,7) = 0$$

$$V_b = 1143,114 / 2,15 = 531,68 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_a + V_b - q_u - P_1 - P_2$$

$$546,68 + 531,68 - (201,6 \times 2,15) - 322,46 - 322,46 = 0 \text{ (OK)}$$

Gaya Lintang

$$X = 0 \rightarrow D_0 = V_a = 546,68$$

$$\begin{aligned}
 X = 0,7 \rightarrow D_{0,7 \text{ (Kiri)}} &= 546,68 - (201,6 \times 0,7) \\
 &= 405,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{0,7 \text{ (Kanan)}} &= 546,68 - (201,6 \times 0,7) - \\
 &= 322,46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -83,1 \text{ kg} \\
 X = 1,4 \rightarrow D_{1,4} \text{ (Kiri)} &= 546,68 - (201,6 \times 1,4) - 322,46 \\
 &= -58,02 \text{ kg} \\
 D_{1,4} \text{ (Kiri)} &= 546,68 - (201,6 \times 1,4) - 322,46 - 322,46 \\
 &= -380,48 \text{ kg} \\
 X = 2,15 \rightarrow D_{2,15} &= Vb = 531,68 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= 546,68 \times 1,075 - (201,6 \times 1,075) \\
 &= 0,5375 - 322,46 \times 0,375 \\
 &= 350,27 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

6.3.3 Penulangan Balok Lift

6.3.3.1 Balok Penumpu Lift

A. Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa
- Panjang Balok = 2300 mm
- Tinggi Balok (h) = 300 mm
- Lebar Balok (b) = 200 mm
- Diameter Tulangan = 13 mm (Longitudinal)
- Diameter Sengkang = 10 mm
- Selimut beton = 40 mm
- d (Longitudinal) = $300 - 40 - \frac{1}{2} \times 13 = 253,5 \text{ mm}$
- M_n

$$= \frac{Mu}{\phi} = \frac{350,27}{0,75} = 467,027 \text{ kgm}$$

$$= 4670266,67 \text{ Nmm}$$
- β_1

$$= 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7}$$

$$= 0,8357$$
- m

$$= \frac{f_y}{0,85 f_c'} = 15,68$$

B. Perhitungan Tulangan Lentur

$$\bullet \rho b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \times 0,8 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\
 &= 0,0306 \\
 \bullet \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,022295 \\
 \bullet \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = 0,0035 \\
 &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} = 0,00342
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet R_n &= \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4670266,67}{200 \times 253,5^2} = 0,363 \\
 \bullet \rho &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,363}{400}} \right) \\
 &= 0,000914
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &> \rho_{\text{hitung}} \\
 0,00342 &> 0,000914
 \end{aligned}$$

- As pakai = $\rho \times b \times d$
 $= 0,00342 \times 200 \times 253,5 = 173,394 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan = $As / \pi r^2 = 173,394 / 132,73$
 $= 1,3 \approx 3 \text{ buah}$
- Jadi Digunakan tulangan lentur **3D13**

C. Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 546,68 \text{ kg} = 5466,8 \text{ N} \\
 V_c &= 1/6 \sqrt{f'c} b w d = 46282,556 \text{ N} \\
 V_{s \min} &= 1/3 b w d = 16900 \text{ N} \\
 V_u &< 0,5 \phi V_c \\
 5466,8 &< 17355,96 \text{ (Tulangan Geser Minimum)} \\
 A_v &= 2 \frac{1}{4} \pi 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)} \\
 S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,08 \times 400 \times 253,5}{16900} = 942,5 \\
 &\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} = d/2 = 126,75 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan sengkang **2Ø10 – 125**

6.3.3.2 Balok Penggantung Lift

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

- Tulangan Lentur = **3D13**
- Tulangan Geser = **2Ø10 – 150**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UTAMA

7.1 Balok Induk

Perhitungan balok struktur utama dibawah akan dijabarkan secara urut dengan gaya dalam yang didapatkan dari program SAP 2000. Perhitungan balok mengacu pada SNI 2847 2013 dimana balok didesain sebagai komponen struktur lentur momen rangka khusus.

Berikut contoh perhitungan struktur balok **B7** yang mewakili perhitungan balok – balok lain pada bangunan.

7.1.1 Data Balok

Nama Balok	: Balok B7
Panjang Balok	: 7653 mm
Tinggi Balok (h)	: 650 mm
Lebar Balok (b)	: 400 mm
Lebar bersih balok (ln):	6653 mm
Selimut Beton	: 40 mm
Mutu Beton	: 30 MPa
Mutu Tulangan	: BJTD 41 = 392 MPa
Mutu Sengkang	: BJTP 24 = 235 MPa
Data Tulangan	

- Tulangan Lapangan : 19 mm

- Tulangan Tumpuan : 19 mm

- Sengkang : 10 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7}$$

$$= 0,836$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{392}{0,85 \times 30} = 15,373$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{392} \left(\frac{600}{600 + 392} \right)$$

$$= 0,03289$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,02467 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{392} = 0,00357 \\
 &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25x\sqrt{30}}{392} = 0,00349 \text{ (dipilih)}
 \end{aligned}$$

7.1.2 Data Gaya

Momen (Mu)

- Lapangan : 261981776 Nmm
- Tumpuan Kiri Negatif : 328526405 Nmm
- Tumpuan Kiri Positif : 107632440 Nmm
- Tumpuan Kanan Negatif : 241758710 Nmm
- Tumpuan Kanan Positif : 246429326 Nmm

Geser (1,2D + 1L) (Vu) : 255793,7 N

Torsi (T) : 56640164,7 Nmm

Aksial (N) : 1228259 N

7.1.3 Perhitungan Tulangan Lentur

A. Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{261981776}{0,8} \\
 &= 327477220 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \text{sengkang} - \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}} \\
 &= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 590,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{327477220}{400 \times 590,5^2} = 2,34791$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,373} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,373 \times 2,34791}{392}} \right) \\
 &= 0,00629
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00349 < 0,00629 < 0,02467$$

Maka digunakan $\rho_{\text{hitung}} = 0,00629$

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d = 0,00629 \times 400 \times 590,5 \\
 &= 1485,698 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= As / \frac{1}{4} \pi d^2 = 1485,698 / 283,53 \\
 &= 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Jarak Tulangan} &= \frac{b - 2\text{decking} - 2\text{sengkang} - n\emptyset}{(n-1)} < 25 \\
 &= \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 6.19}{(6-1)} \\
 &= 37,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \\
 - \text{ As aktual} &= 6 \frac{1}{4} \pi d^2 = 1701,172 \text{ mm}^2 \\
 - a &= \frac{A_{s\text{aktual}} f_y}{0,85 x f_c x b} \\
 &= \frac{1701,172 x 392}{0,85 x 30 x 400} = 65,378 \text{ mm} \\
 - d \text{ aktual} &= 590,5 \text{ mm} \\
 - M_n &= 0,85 f_c a b (d - a/2) \\
 &= 0,85 x 30 x 65,378 x 400 (590,5 - \frac{65,378}{2}) \\
 &= 371979389,1 \text{ Nmm} \\
 - M_n &> M_u / \phi \rightarrow 371979389,1 > 327477220 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan **6D19**

B. Tulangan Tumpuan Kiri Negatif

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{328526405}{0,8} \\
 &= 410658006,3 \text{ Nmm} \\
 d &= h - \text{decking} - \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{lentur} \\
 &= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 590,5 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} = \frac{410658006,3}{400 x 590,5^2} = 2,9443 \\
 \rho &= \frac{1}{15,373} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 15,373 x 2,9443}{392}} \right) \\
 &= 0,008003
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00349 < 0,008003 < 0,02467$$

Maka digunakan $\rho_{\text{hitung}} = 0,008003$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho x b x d = 0,008003 x 400 x 590,5 \\
 &= 1890,375 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= A_s / \frac{1}{4} \pi d^2 = 1890,375 / 283,53 \\
 &= 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

- Jarak Tulangan = $\frac{b - 2decking - 2sengkang - n\emptyset}{(n-1)} < 25$
 $= \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 7.19}{(7-1)}$
 $= 27,833 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$
- As aktual = $7 \frac{1}{4} \pi d^2 = 1984,701 \text{ mm}^2$
- a = $\frac{As_{aktual} f_y}{0,85 x f_c x b}$
 $= \frac{1984,701 x 392}{0,85 x 30 x 400} = 76,274 \text{ mm}$
- d aktual = 590,5 mm
- Mn = $0,85 f_c a b (d - a/2)$
 $= 0,85 x 30 x 76,274 x 400 (590,5 - \frac{76,274}{2})$
 $= 429739683,4 \text{ Nmm}$
- Mn > Mu/φ
 $429739683,4 > 410658006,3 \text{ (OK)}$

Jadi digunakan tulangan **7D19**

C. Tulangan Tumpuan Kiri Positif

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{107632440}{0,8}$$

$$= 134540550 \text{ Nmm}$$

$$d = h - decking - sengkang - \frac{1}{2} \emptyset \text{lentur}$$

$$= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 590,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{134540550}{400 x 590,5^2} = 0,9646$$

$$\rho = \frac{1}{15,373} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 15,373 x 0,9646}{392}} \right)$$

$$= 0,002509$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{hitung}}$$

$$0,00349 < 0,002509$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,00349$

$$As_{\text{perlu}} = \rho x b x d = 0,00349 x 400 x 590,5$$

$$= 824,338 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = As / \frac{1}{4} \pi d^2 = 824,338 / 283,53$$

$$= 3 \text{ buah}$$

Kontrol :

- Jarak Tulangan = $\frac{b - 2decking - 2sengkang - n\emptyset}{(n-1)} < 25$
 $= \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 3.19}{(3-1)}$
 $= 121,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$
- As aktual = $3 \frac{1}{4} \pi d^2 = 850,586 \text{ mm}^2$
- a = $\frac{As_{aktual} f_y}{0,85 f_c \times b}$
 $= \frac{850,586 \times 392}{0,85 \times 30 \times 400} = 32,689 \text{ mm}$
- d aktual = 590,5 mm
- Mn = $0,85 f_c a b (d - a/2)$
 $= 0,85 \times 30 \times 32,689 \times 400 (590,5 - \frac{32,689}{2})$
 $= 191439405,2 \text{ Nmm}$
- Mn > Mu/φ
 $191439405,2 > 134540550 \text{ (OK)}$

Jadi digunakan tulangan **3D19**

D. Tulangan Tumpuan Kanan Negatif

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{241758710}{0,8} \\ &= 302198387,5 \text{ Nmm} \\ d &= h - decking - sengkang - \frac{1}{2} \emptyset \text{lentur} \\ &= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 590,5 \text{ mm} \\ Rn &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{302198387,5}{400 \times 590,5^2} = 2,167 \\ \rho &= \frac{1}{15,373} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,373 \times 2,167}{392}} \right) \\ &= 0,005784 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00349 < 0,005784 < 0,02467$$

Maka digunakan $\rho_{\text{hitung}} = 0,005784$

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d = 0,005784 \times 400 \times 590,5 \\ &= 1366,275 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= As / \frac{1}{4} \pi d^2 = 1366,275 / 283,53 \\ &= 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Jarak Tulangan} &= \frac{b - 2\text{decking} - 2\text{sengkang} - n\emptyset}{(n-1)} < 25 \\
 &= \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 5.19}{(5-1)} \\
 &= 51,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \\
 - \text{ As aktual} &= 5 \frac{1}{4} \pi d^2 = 1417,643 \text{ mm}^2 \\
 - a &= \frac{As_{\text{aktual}} f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{1417,643 \times 392}{0,85 \times 30 \times 400} = 54,482 \text{ mm} \\
 - d \text{ aktual} &= 590,5 \text{ mm} \\
 - M_n &= 0,85 f_c a b (d - a/2) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 54,482 \times 400 (590,5 - \frac{54,482}{2}) \\
 &= 313012223,3 \text{ Nmm} \\
 - M_n &> M_u / \phi \\
 313012223,3 &> 302198387,5 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan **5D19**

E. Tulangan Tumpuan Kanan Positif

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{246429326}{0,8} \\
 &= 308036657,5 \text{ Nmm} \\
 d &= h - \text{decking} - \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{lentur} \\
 &= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 590,5 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} = \frac{308036657,5}{400 \times 590,5^2} = 2,2085 \\
 \rho &= \frac{1}{15,373} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,373 \times 2,2085}{392}} \right) \\
 &= 0,005902
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00349 < 0,005902 < 0,02467$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,005902$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d = 0,005902 \times 400 \times 590,5 \\
 &= 1393,986 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= A_s / \frac{1}{4} \pi d^2 = 1393,986 / 283,53 \\
 &= 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

- Jarak Tulangan = $\frac{b - 2decking - 2senggang - n\emptyset}{(n-1)} < 25$
 $= \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 5.19}{(5-1)}$
 $= 51,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$
 - As aktual = $5 \frac{1}{4} \pi d^2 = 1417,643 \text{ mm}^2$
 - a = $\frac{As_{aktual} f_y}{0,85 f_c b}$
 $= \frac{1417,643 \times 392}{0,85 \times 30 \times 400} = 32,689 \text{ mm}$
 - d aktual = 590,5 mm
 - Mn = $0,85 f_c a b (d - a/2)$
 $= 0,85 \times 30 \times 54,482 \times 400 (590,5 - \frac{54,482}{2})$
 $= 313012223,3 \text{ Nmm}$
 - Mn > Mu/φ
 $313012223,3 > 308036657,5 \text{ (OK)}$
- Jadi digunakan tulangan **5D19**

7.1.4 Perhitungan Tulangan Geser

A. Tumpuan / Sendi Plastis

- Momen Probabilitas Positif (Mpr⁺)
Tulangan terpasang (5D19) = 1417,643 mm²
 $a = \frac{As (1,25) f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1417,643 \times (1,25) \times 392}{0,85 \times 30 \times 400} = 68,10 \text{ mm}$
(Mpr⁺) = As (1,25 fy) (d - a/2)
 $= 1417,643 (1,25 \times 392) (590,5 - 68,10/2)$
 $= 386534571 \text{ Nmm}$
 - Momen Probabilitas Negatif (Mpr⁻)
Tulangan terpasang (7D19) = 1984,701 mm²
 $a = \frac{As (1,25) f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1984,701 \times (1,25) \times 392}{0,85 \times 30 \times 400} = 95,34 \text{ mm}$
(Mpr⁻) = As (1,25 fy) (d - a/2)
 $= 1984,701 (1,25 \times 392) (590,5 - 95,34/2)$
 $= 527902416 \text{ Nmm}$
- $$V_{\text{sway}} = \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{ln} = \frac{386534571 + 527902416}{6653}$$
- $$= 137447,315 \text{ N}$$
- $$V_e = V_{(1,2D+1L)} + V_{\text{sway}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 214338,23 + 137447,315 \\
 &= 351785,545 \text{ N} \\
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d = \frac{1}{6} \sqrt{30} 400 590,5 \\
 &= 215620,1135 \text{ N} \\
 V_{s \min} &= 1/3 b d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 590,5 = 78733,333 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $351785,54 \leq 0,5 \times 0,75 \times 216620,1135$
 $351785,54 > 80857,542$ (Perlu Tulangan Geser)
2. $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$
 $80857,542 < 351785,54 > 162465,0851$
 (Cek Kontrol 3)
3. $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_{s \min})$
 $162465,0851 < 351785,54 < 221515,085$
 (Cek Kontrol 4)
4. $\phi(V_c + V_{s \min}) < V_u < \phi(V_c + 1/3 \sqrt{f_c} b d)$
 $221515,085 < 351785,54 < 485895,25$
 (Perlu Tulangan Geser)

$V_c = 0$, bila

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway}} &\geq 0,5 V_u \\
 137447,315 &< 175892,7 \text{ (Tidak OK)} \\
 P_u &< A_g f_c' / 20 \\
 1228259 &> 8666,667 \text{ (Tidak OK)}
 \end{aligned}$$

Maka $V_c \neq 0$,

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_u / \phi - V_c \\
 &= \frac{351785,54}{0,75} - 215620,1135 \\
 &= 253427,2732 \text{ N} \\
 A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 = 157,0796 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,0796 \times 235 \times 590,5}{253427,2732} \\
 &= 86,01 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol

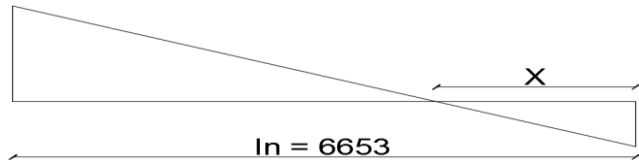
$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= d/4 = 147,625 \text{ mm} > 80 \text{ mm (OK)} \\
 &= 6\phi_{Lentur} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm} > 80 \text{ mm (OK)} \\
 &= 150 \text{ mm} > 80 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan geser tumpuan dipasang **2Ø10 – 80**

Dipasang 2 . h = 2 x 650 = 1300 mm dari muka kolom.

B. Diluar Sendi Plastis

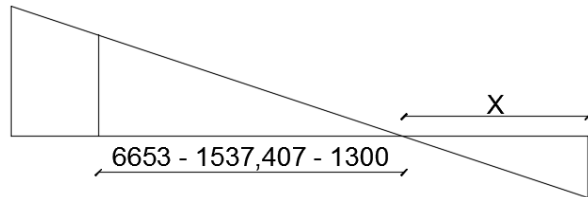
$$V_{(1,2D + 1L)} + V_{sway} = 351785,545 \text{ N}$$



$$V_{(1,2D + 1L)} - V_{sway} = 76890,915 \text{ N}$$

Dengan perbandingan segitiga didapat nilai $x = 1537,407 \text{ mm}$

$$351785.545 \text{ N}$$



Dihitung menggunakan perbandingan segitiga

$$\text{didapat } V_u = \frac{351785,545 \times 3815,593}{5115,593} = 262388,0483 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_u / \phi - V_c \\
 &= \frac{262388,0483}{0,75} - 215620,1135 \\
 &= 134230,62 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 = 157,0796 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{Av f_y d}{V_s} = \frac{157,0796 \times 235 \times 590,5}{134230,62}$$

$$= 164,38 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan geser **2Ø10 – 150**

7.1.5 Perhitungan Tulangan Torsi

Resume tulangan geser

Tumpuan : **2Ø10 – 80**

Lapangan : **2Ø10 – 150**

Kontrol kebutuhan tulangan Torsi

$$T_u \leq \phi 0,0083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

dimana, $A_{cp} = b \cdot h = 400 \times 650 = 260000 \text{ mm}^2$

$P_{cp} = 2(b+h) = 2(400+650) = 2100 \text{ mm}$

$\lambda = 1$ (Beton Normal)

$$56640164,7 > 0,75 \cdot 0,0083 \cdot 1 \sqrt{30} \left(\frac{260000^2}{2100} \right)$$

$56640164,7 > 10975577,59$ (Butuh Tulangan Torsi)

Penulangan Torsi

$$A_{oh} = (650 - 2 \times 40) \times (400 - 2 \times 40)$$

$$= 182400 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2((650 - 2 \times 40) + (400 - 2 \times 40))$$

$$= 1780 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} = 155040 \text{ mm}^2$$

$$S = 1000 \text{ mm}$$

$$T_n = T_u / 0,75 = 56640164,7 / 0,75$$

$$= 75520219,6 \text{ Nmm}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_c \times f_y \cot 45}$$

$$\frac{A_{vt}}{1000} = \frac{75520219,6}{2 \times 260000 \times 235 \cot 45}$$

$$A_{vt} = 618,005 \text{ mm}^2$$

Cek Kecukupan Penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$1,90788 < 3,4369 \quad (\text{OK})$$

Sengkang Tumpuan (2Ø10 – 80)

$$\begin{aligned}
 A_{vs} &= (n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \times S) / s \\
 &= (2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 1000) / 80 \\
 &= 1963,495 \text{ mm}^2 \\
 A_{vt} + A_{vs} &= 618,005 + 1963,495 \text{ mm}^2 \\
 &= 2581,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 - A_{vt} + A_{vs} &> \frac{75\sqrt{fc}}{1200} \times \frac{b S}{f_y} \\
 2581,5 &> \frac{75\sqrt{30}}{1200} \times \frac{400 \times 1000}{235} = 582,68 \text{ (OK)} \\
 - A_{vt} + A_{vs} &> 1/3 \frac{b S}{f_y} \\
 2581,5 &> 1/3 \frac{400 \times 1000}{235} = 567,376 \text{ (OK)} \\
 S &= \frac{\frac{n^1 \pi D^2 S}{A_{vt} + A_{vs}}}{2581,5} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{2581,5} = 60,84 \text{ mm} \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = Ph / 8 = 1780 / 8 = 222,5 \text{ mm}$$

$$S < 300 \text{ mm}$$

Maka diambil yang terkecil yaitu 60 mm

Jadi tulangan transversal total adalah **2Ø10 – 60**

Senggang Lapangan (2Ø10 – 150)

$$\begin{aligned}
 A_{vs} &= (n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \times S) / s \\
 &= (2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 1000) / 150 \\
 &= 1047,197 \text{ mm}^2 \\
 A_{vt} + A_{vs} &= 618,005 + 1047,197 \text{ mm}^2 \\
 &= 1665,2026 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 - A_{vt} + A_{vs} &> \frac{75\sqrt{fc}}{1200} \times \frac{b S}{f_y} \\
 1665,2026 &> \frac{75\sqrt{30}}{1200} \times \frac{400 \times 1000}{235} = 582,68 \text{ (OK)} \\
 - A_{vt} + A_{vs} &> 1/3 \frac{b S}{f_y} \\
 1665,2026 &> 1/3 \frac{400 \times 1000}{235} = 567,376 \text{ (OK)} \\
 S &= \frac{\frac{n^1 \pi D^2 S}{A_{vt} + A_{vs}}}{1665,2026} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1665,2026} = 94,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$= 90 \text{ mm}$$

$$S = Ph / 8 = 1780/8 = 222,5 \text{ mm}$$

$$S < 300 \text{ mm}$$

Maka diambil yang terkecil yaitu 90 mm

Jadi tulangan transversal total adalah **2Ø10 – 90**

Tulangan Torsi Longitudinal

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_{vt}}{S} x Ph x \left(\frac{f_{yv}}{f_{yh}} \right) x \cot^2 45 \\ &= \frac{618,005}{1000} x 1780 x \left(\frac{235}{392} \right) x \cot^2 45 \\ &= 659,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Badan :

$$n = 659,47 / \frac{1}{4} \pi 19^2 = 2,3 \approx 3 \text{ buah}$$

Jadi tulangan badan yang digunakan **3D19**

7.1.6 Panjang Penyaluran Tulangan

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.7.5.1 panjang penyaluran tulangan l_{dh} tidak boleh kurang dari,

$$l_{dh} \geq 8 d_b = 8 x 19 = 152 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c}} = \frac{392 x 19}{5,4 \sqrt{30}} = 251,817 \text{ mm (Menentukan)}$$

maka panjang penyaluran ke dalam joint atau ke dalam kolom (l_{dh}) adalah 300 mm dengan panjang kait 12db = 12 x 19 = 228 ≈ 230 mm sesuai SNI 2847 2013 Pasal 12.5.1

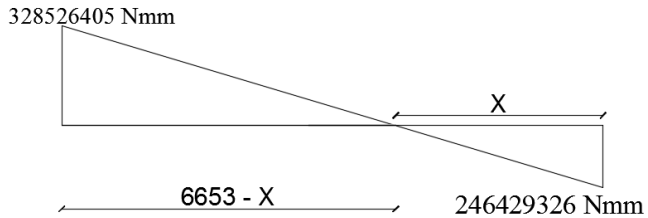
7.1.7 Panjang Pemutusan Tulangan Lentur

Pemutusan tulangan negatif pada tumpuan dihitung berdasarkan kemampuan tulangan menerus yang berjumlah 3.

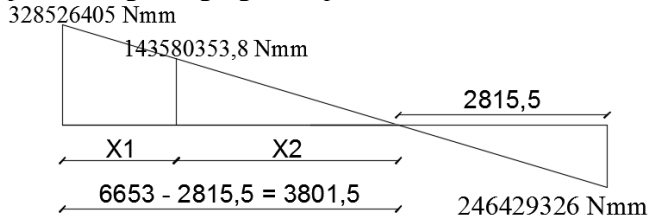
$$A_{s_{\text{sisal}}} = 3 \frac{1}{4} \pi 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{850,586 x 392}{0,85 x 30 x 400} = 32,67$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi A_{s_{\text{sisal}}} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,75 x 850,586 x 392 \left(590,5 - \frac{32,67}{2} \right) \\ &= 143580353,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Dengan perhitungan menggunakan metode perbandingan segitiga didapat $X = 2815,5$ mm



Dengan menggunakan cara yang sama didapat $X_2 = 1661,42$ mm

$$X_1 = 3801,5 - 1661,42 = 2140,08 \text{ mm}$$

Tulangan akan dihentikan sepanjang :

$$- l = x + d = 2140,08 + 590,5 = 2730,6 \text{ mm} \quad (\text{menentukan})$$

$$- l = x + 12 d_b = 2140,08 + (12 \times 19) = 2368,08 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

Dimana,

d_b = diameter tulangan lentur = 19 mm

ψ_t = 1,0

ψ_e = 1,5

ψ_s = 0,8 (Untuk diameter tulangan ≤ 19)

K_{tr} = 0 (untuk penyederhanaan desain)

c_b = setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan yang disalurkan

$$= (\text{Spasi bersih tulangan} + d_b) / 2$$

$$= (27,83 + 19) / 2 = 23,41$$

$$\lambda = 1 \text{ (Beton Normal)}$$

$$\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right) = \left(\frac{23,41 + 0}{19} \right) = 1,23 < 2,5 \text{ (OK)}$$

$$l_d = \left(\frac{392}{1,1 \times 1 \sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1,5 \times 0,8}{1,23} \right) 19 = 1206,042 \text{ mm}$$

Maka **4 tulangan** dihentikan sepanjang **2750 mm** > 1206,042 mm.

Tulangan negatif pada balok ini dihentikan juga pada jarak 2750 mm.

7.1.8 Resume Penulangan

Tulangan Lentur

Tumpuan atas kanan :5D19

Tumpuan atas kiri :7D19

Tumpuan bawah kanan=kiri :5D19

Lapangan bawah :6D19

Sengkang

Tumpuan :2Ø10 – 60

Luar Sendi Plastis :2Ø10 – 90

Tulangan Badan :3D19

7.1.9 Kontrol Desain

- Ln bentang < 4d.....(SNI 2847 2013 Ps. 21.5.1.2)

$$6653 < 4 \times 590,5 = 2362 \text{ mm (OK)}$$

- bw > 0,3 h(SNI 2847 2013 Ps. 21.5.1.3)

$$400 > 0,3 \times 650 = 195 \text{ mm (OK)}$$

- bw < Lebar Penumpu..(SNI 2847 2013 Ps. 21.5.1.4)

$$400 < 1000 \text{ (OK)}$$

- Tulangan atas maupun bawah min :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 1,4 \text{ bw d} / f_y = 1,4 \times 400 \times 590,5 / 392 \\ &= 527,232 \text{ mm}^2 > 567,057 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Wajib dipasang 2 tulangan menerus baik atas maupun bawah (OK)

7.2 Kolom

Perhitungan kolom yang dijelaskan adalah kolom berbentuk lingkaran dimana menjadi kolom utama dari bangunan ini.

Kolom K2A adalah kolom yang menjadi contoh perhitungan tulangan kolom.

7.2.1 Data Kolom

Nama kolom	: Kolom K2A
Dimensi	: $\varnothing 1000$ mm
Luas kolom (Ag)	: $\frac{1}{4} \pi D^2 = 785398.1634 \text{ mm}^2$
Selimut beton	: 40 mm
Tulangan Longitudinal	
Diameter	: 19 mm
Luas tulangan	: $\frac{1}{4} \pi D^2 = 283.528 \text{ mm}^2$
Mutu	: 400 MPa
Tulangan Spiral	
Diameter	: 12 mm
Luas tulangan	: $113,0973 \text{ mm}^2$
Mutu	: 400 MPa
Mutu Beton	: 30 MPa

Data gaya dalam berikut adalah hasil perhitungan permodelan SAP 2000 dengan beberapa kombinasi pembebanan.

Kondisi 1

Momen (Arah X)	: 823529010 Nmm
Momen (Arah Y)	: 295053731 Nmm
Aksial	: 7806553,23 N

Kondisi 2

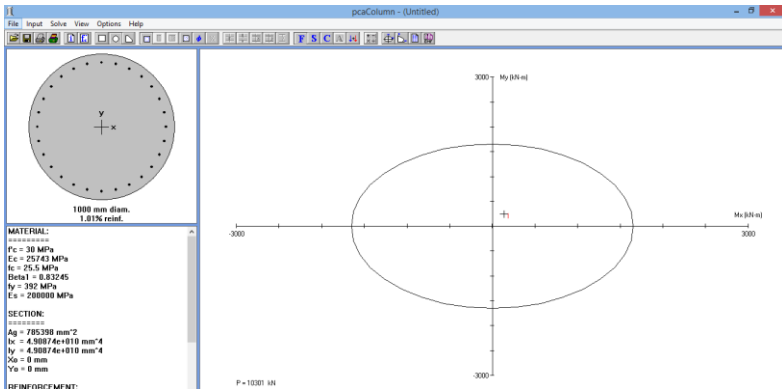
Momen (Arah X)	: 221361827 Nmm
Momen (Arah Y)	: 186022440 Nmm
Aksial	: 11155324.4 N
Geser	: 603811.28N

7.2.2 Kontrol Awal Kolom

- $P_u > \frac{A_g f_c}{10} \rightarrow 9947982 > \frac{\frac{1}{4} \pi 1000^2 30}{10}$
 $9947987 > 2356194.49$ (OK)
- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm
 $1000 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (OK)

7.2.3 Penulangan Longitudinal

Dari beban aksial dan momen yang didapat , kemudian dilakukan perhitungan tulangan longitudinal menggunakan program bantu PCA COL didapatkan hasil interaksi aksial dan momen sebagai berikut.



Gambar 7.1 Diagram Interaksi Aksial dan Momen Kolom dengan PCA COL

Diagram diatas merupakan hasil design kolom dengan momen dari dua arah (biaksial) yaitu baik dari arah X maupun Y.

Dari hasil perhitungan program bantu didapatkan tulangan longitudinal kolom **28D19**.

Kontrol rasio tulangan

$$0,01A_g < A_{st} < 0,06A_g$$

$$0,01 \times 785398.16 < 28 \times 283.528 < 0,06 \times 785398.16$$

$$7853.9816 < 7938.784 < 47123.8896 \text{ (OK)}$$

7.2.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 10.3.6 kapasitas beban aksial kolom ϕP_n dengan tulangan spiral tidak boleh lebih besar dari $\phi P_{n(max)}$:

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi[0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}]$$

$$\phi P_{n(max)} = 0,85 \times 0,65 [0,85 \times 30(785398.16 - 283.528) + 392 \times 283.528]$$

$$= 11122267.6 \text{ N} > 9947982 \text{ N (OK)}$$

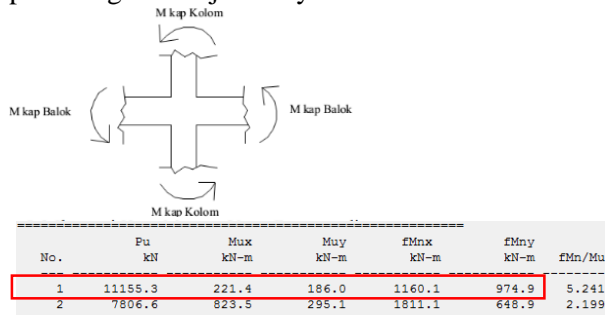
7.2.5 Kontrol Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, bahwa kolom lebih kuat dari balok.

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$$

Untuk mendapatkan perhitungan yang maksimal dan lebih mudah kapasitas momen kolom baik atas maupun bawah dianggap sama. Kapasitas momen didapatkan dari hasil analisa PCACOL.

Karena kolom hanya menumpu balok dari arah X maka perhitungan ditinjau hanya dari arah X.



Gambar 7.2 Kapasitas kolom berdasarkan PCACOL

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &= 1160,1 + 1160,1 = 2320,2 \text{ kNm} \\ &= 2320200000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

ΣM_{nb} adalah momen kapasitas dari balok B11 dan B12 dimana, $M_{pr} = 642876238 \text{ Nmm}$

$$M_{pr}^+ = 527902416 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nb-x} &= 1,2 (642876238 + 527902416) \\ &= 1,2 (1170778654) = 1404934385 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &> 1,2 \Sigma M_{nb} \\ 2320200000 &> 1404934385 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Maka kolom memenuhi persyaratan.

7.2.6 Gaya Geser Rencana

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.5.1, gaya geser desain V_e harus ditentukan terhadap gaya – gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan di setiap ujung komponen struktur. Gaya – gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor P_u , yang bekerja pada komponen struktur.

Untuk mendapatkan nilai M_{pr} kolom, digunakan program PCACOL dengan mengubah nilai $f_s = 1,25 f_y$. Dari hasil perhitungan PCACOL didapat nilai M_{pr} kolom = 1214,3 kNm

No.	P_u kN	M_{ux} kN-m	M_{uy} kN-m	f_{Mux} kN-m	f_{Mny} kN-m	f_{Mn}/M_u
1	11155.3	221.4	186.0	1214.3	1020.4	5.485
2	7806.6	823.5	295.1	1855.4	664.7	2.253

$$V_{ekolom} = (2 \times M_{pr})/l_n = (2 \times 1214,3)/3,35 = 724,96 \text{ kN}$$

Untuk nilai M_{pr} balok dengan menganggap tinggi kolom sama antar lantai,

$$\begin{aligned} V_{ebalok} &= 2 \left(\frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} \right) + \frac{l_n}{2 l_n} \\ &= 2 \left(\frac{642876238 + 527902416}{3350} \right) + \frac{3350}{2 \times 3350} \\ &= 698,972 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u \text{ terfaktor analisis} = 603,811 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diatas maka yang paling menentukan adalah yang maksimum yaitu $V_{ekolom} = 724,96 \text{ kN}$

7.2.7 Pengekangan Kolom (*Confinement*)

Pengekangan kolom menggunakan tulangan spiral tidak boleh kurang dari,

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_{cr}}{f_{yt}} \quad \text{dan} \quad \rho_s = 0,12 \left(\frac{f_{cr}}{f_{yt}} \right)$$

dimana, A_{ch} = Luas penampang yang diukur dari sengkang terluar

$$= \frac{1}{4} \pi (1000 - 2 \times 40)^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 664761,0055 \text{ mm}^2 \\
 \rho_s &= 0,45 \left(\frac{785398,1634}{664761,0055} - 1 \right) \frac{30}{400} = 0,00612 \\
 \rho_s &= 0,12 \left(\frac{30}{400} \right) = 0,009 \text{ (Menentukan)} \\
 \rho_s &= \frac{\alpha_s \pi D_c}{\left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) S} = \frac{4\alpha_s}{D_c S}, \text{ maka } S = \frac{4\alpha_s}{D_c \rho_s}
 \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 D_c &= \text{Diamater beton yang dibatasi spiral} \\
 &= 1000 - 2 \times 40 = 920 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{4 \times \frac{1}{4} \pi \times 12^2}{920 \times 0,009} = 54,63 \approx 50 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 7.10.4.3 spasi bersih tulangan spiral tidak melebihi 75 mm dan tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$25 < 50 < 75 \text{ (OK)}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.6, ujung-ujung kolom sepanjang l_o harus dikekang oleh tulangan transversal (A_{sh}) dengan spasi :

$$\begin{aligned}
 l_o &\geq h = 650 \text{ mm (menentukan)} \\
 &\geq 1/6 l_n = 1/6 (4000 - 650) = 558,33 \approx 600 \text{ mm} \\
 &\geq 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang l_o kolom = **650 mm**

Dengan spasi sepanjang l_o menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.3 tidak boleh melebihi :

$$\begin{aligned}
 S &< \frac{1}{4} \emptyset 1000 = 250 \text{ mm} \\
 S &< 6 \text{ diameter tulangan longitudinal} = 114 \text{ mm} \\
 S &< 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \approx 100 \text{ mm (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Maka spasi tulangan spiral diambil **50 mm**.

Cek kecukupan tulangan spiral terhadap gaya geser rencana,

Cek kontribusi beton dalam menahan gaya geser

$V_c = 0$, bila

$$V_{sway} \geq 0,5 V_u$$

$$724960 > 0,5 \times 603,811 = 301905 \text{ N (OK)}$$

$$P_u < A_g f_c' / 10$$

$$11155324.4 > 2356194,49 \text{ (Tidak OK)}$$

Karena $P_u > A_g f_c' / 10$ maka kontribusi beton dalam menahan gaya geser diperhitungkan.

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \\ &= \left(1 + \frac{11155324.4}{14 \times 785398.1634}\right) \frac{\sqrt{30}}{6} 1000 \times 938,5 \\ &= 1725905,798 \text{ N} = 1725,9 \text{ kN} \\ V_s &= \frac{A_s f_y d}{s} = \frac{(2 \times 113,0973) \times 400 \times 938,5}{50} = 1698,27 \text{ kN} \\ \phi(V_s + V_c) &= 0,65 (1725,9 + 1698,27) \\ &= 2225,7 \text{ kN} > V_u = 603,811 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

Maka tulangan spiral minimum mampu menahan gaya geser hasil analisa struktur.

Diluar panjang lo (Lapangan)

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.5 diluar panjang lo dipasang kekangan kolom dengan spasi tidak boleh kurang dari :

$$S > 6 \times d_{b \text{ tul lentur}} = 6 \times 19 = 114 \text{ (menentukan)}$$

$$S > 150$$

Jadi sepanjang luar lo dipasang tulangan spiral dengan jarak (s) = **110 mm**

7.2.8 Panjang Sambungan Lewatan

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 12.2.3 batang tulangan ulir dengan kondisi tekan harus memiliki l_d terbesar dari,

$$(0,043 f_y) d \text{ dan } (0,24 f_y \lambda \sqrt{f_c'}) d_b$$

dimana,

$$\lambda = 1,0 \text{ (Beton Normal)}$$

$$(0,043 \times 392) \times 19 = 320 \text{ mm}$$

$$(0,24 \times 392 / 1 \sqrt{30}) \times 19 = 326,36 \text{ mm} \approx 330 \text{ mm}$$

Jadi jarak sambungan lewatan adalah **330 mm**.

Dengan perhitungan yang sama didapat hasil tulangan kolom yang lain adalah sebagai berikut

Nama Kolom	Tinggi Kolom	Diameter Kolom	Tulangan Longitudinal	Tulangan Spiral		Panjang lo
				Tumpuan	Lapangan	
K2A	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2B	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2C	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2D	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2E	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2F	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2G	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K2H	4000	1000	28D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650
K5	8000	800	25D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	1200
K6	4000	1000	30D19	Ø12 - 50	Ø12 - 110	650

Tabel 7.1 Penulangan Kolom Bulat

7.3 Hubungan Balok Kolom

Perhitungan hubungan balok berikut adalah contoh dari hubungan balok B12 dan B13 yang bertemu pada kolom K2A, dimana data – data gaya dalam telah didapat di perhitungan sebelumnya.

7.3.1 Data Gaya Dalam

Kolom

$$M_u = 1214,3 \text{ kNm (dianggap atas = bawah)}$$

$$V_e = 724,96 \text{ kN}$$

Balok

$$M_{pr}^- = 642876238 \text{ Nmm (7D19)}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= A_s \text{ terpasang} \times 1,25 \times f_y \\ &= 1984,701 \times 1,25 \times 392 = 972503,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_{pr}^+ = 527902416 \text{ Nmm (5D19)}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= A_s \text{ terpasang} \times 1,25 \times f_y \\ &= 1417,643 \times 1,25 \times 392 = 694645,07 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \left(\frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{2} \right) = \left(\frac{642876238 + 527902416}{2} \right) \\ &= 585389327 \text{ Nmm} = 585,39 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$V_h = M_u / (l_n / 2) = 349,486 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 972503,5 + 694645,07 - 349486 \\ &= 1317662,57 \text{ N} \end{aligned}$$

7.3.2 Kontrol Kuat Geser Beton

Untuk HKB dengan terkekan di kedua sisinya, gaya geser nominal adalah

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 1,2 \times \sqrt{f_c} A_j \\ &= 1,2 \times \sqrt{30} (1000 \times 400) \\ &= 1971801,207 \text{ N} > V_u = 1317662,57 \text{ N (OK)}.\end{aligned}$$

Hubungan balok kolom mampu menahan gaya geser rencana.

7.4 Dinding Geser

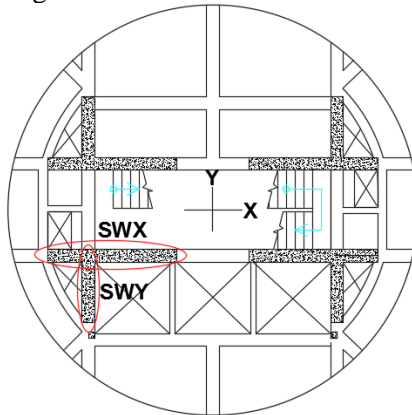
Desain tulangan dinding pada struktur biasanya menggunakan dinding paling bawah karena menghasilkan gaya – gaya dalam yang maksimum. Dengan perilaku yang sama dengan kolom, dinding geser dipengaruhi dua gaya yang saling berkaitan yaitu gaya aksial dan momen. Oleh karena itu, perlu program bantu PCACOL untuk menentukan gaya – gaya maksimum dari dua pengaruh gaya dalam tersebut.

Bangunan ini memiliki delapan dinding geser yang menahan dari dua arah sumbu bangunan baik menahan gaya lateral sumbu x maupun y. Berikut contoh perhitungan pernulangan salah satu dinding geser dari sumbu x.

7.4.1 Data Dinding Geser

Nama elemen	: SW1X
Tebal dinding (h)	: 400 mm
Tinggi dinding (hw)	: 80000 mm
Panjang dinding (lw)	: 4150 mm
Tebal <i>decking</i>	: 400 mm
Mutu beton	: 35 MPa
Mutu Tulangan Longitudinal	: BJTD 41 : 400 MPa

Mutu Tulangan Transversal : 400 MPa



Gambar 7.3 Denah dinding geser

7.4.2 Data Gaya Dalam

Gaya dalam yang digunakan desain adalah gaya dalam yang paling maksimum dari beberapa kombinasi pembebanan.

Momen (M_u) : 8033.7651 kNm

Geser (V) : 672.981 kN

Aksial (N) : 13502.976 kN

7.4.3 Kontrol Dimensi Terhadap Gaya Geser

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.9.4.4 kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi $0,83 A_{cv} \sqrt{f_c}$

Dimana :

A_{cv} : Luas penampang dinding yang ditinjau
 $h \times d$ (menurut SNI 2847 Pasal 11.9.4,
 $d = 0,8 l_w = 0,8 \times 4150 = 3320$ mm

$$0,83 \times 400 \times 3320 \times \sqrt{35} = 6520939,8 \text{ N}$$

$$V_u = 672981 \text{ N} < 6520939,8 \text{ N (OK)}$$

7.4.4 Perencanaan Awal Kebutuhan Tulangan

a. Rasio tulangan minimum horizontal ρ_t dan vertikal

$$\rho_t$$

$0,083 A_{cv} \sqrt{f_c} = 815117,47 \text{ N} > V_u = 672981 \text{ N}$
 Menurut SNI 2847 Pasal 21.9.2.2 maka rasio tulangan ρ_t dan ρ_l boleh kurang dari 0,0025

b. Tulangan Vertikal (ρ_l)

Menurut SNI 2847 Pasal 21.9.2.2 paling sedikit disediakan dua lapis tulangan pada dinding apabila V_u melebihi,

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c} = 0,17 \times 400 \times 4150 \times 1 \times \sqrt{35} \\ = 1669517,715 \text{ N}$$

$$V_u = 672981 \text{ N} < 1669517,715 \text{ N}$$

Maka dinding dapat menggunakan satu lapis tulangan vertikal. Namun berdasarkan *SNI 2847 2013 Pasal 14.3.4* dinding dengan ketebalan > 250 mm harus mempunyai dua lapis tulangan.

Direncanakan menggunakan tulangan D16 dengan rasio 0,0025.

Luas tulangan minimal per m'

$$\text{Luas tulangan } (A_s) = \frac{1}{4} \pi 16^2 = 201,061 \text{ mm}^2$$

$$0,0025 A_{cv} = 0,0025 \times 400 \times 1000 \\ = 1000 \text{ mm}^2/\text{m} = 1 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{2 \times 201,061 \text{ mm}^2}{1 \text{ mm}^2/\text{mm}} \\ = 402,122 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$S_{\max} = l_w/3 = 4150/3 = 1383 \text{ mm} \\ = 3 \times h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm} \\ = 450 \text{ mm (menentukan)}$$

$$S = 200 < S_{\max} = 450 \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan vertikal dicoba pasang D16-200 dalam dua lapis.

c. Tulangan Horizontal /Transversal (ρ_t)

Karena rasio boleh kurang dari 0,0025 tulangan transversal direncanakan menggunakan rasio tulangan 0,0015 dengan diameter tulangan D13

Luas tulangan minimal per m'

$$\text{Luas tulangan (As)} = \frac{1}{4} \pi 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$0,0015 A_{cv} = 0,0015 \times 400 \times 1000$$

$$= 600 \text{ mm}^2/\text{m} = 0,6 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = \frac{2 \times 132,73 \text{ mm}^2}{0,6 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$

$$= 442 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$S_{\max} = l_w/5 = 4150/5 = 830 \text{ mm}$$

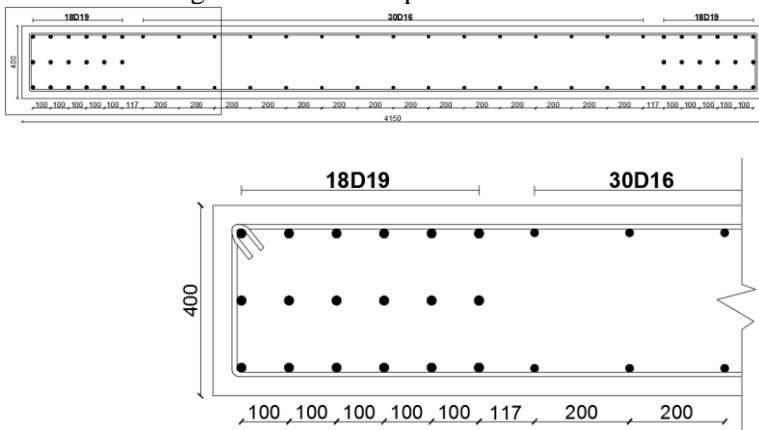
$$= 3 \times h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm (menentukan)}$$

$$S = 300 < S_{\max} = 450 \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan horizontal dipasang **D13 – 300**.

Berdasarkan hasil perencanaan awal maka digunakan desain seperti berikut.



Gambar 7.4 Detail Perencanaan Tulangan Longitudinal Dinding

7.4.5 Kontrol Kuat Geser Dinding

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.1 V_n dinding struktur tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{cv} \left(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y \right)$$

Dimana,

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{80000}{4150} = 19,27 > 2, \text{ maka } \alpha_c = 1,7$$

$$\rho_t = \frac{Av}{tw \times s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2}{400 \times 150} = 0,0026$$

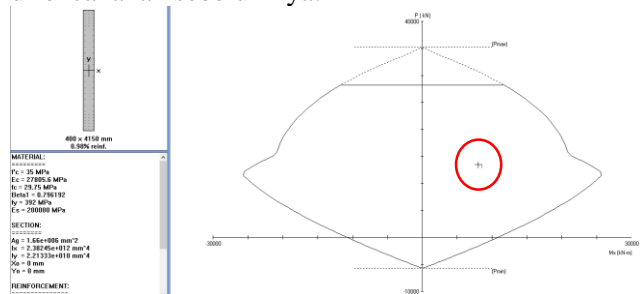
$$V_n = 400 \times 4150 (1,7 \times 1 \times \sqrt{35} + 0,0026 \times 235)$$

$$V_n = 17709437,15 \text{ N} > V_u = 902426 \text{ N}$$

Namun $V_n = 17709437,15 \text{ N}$ tidak boleh diambil lebih dari $0,83 A_c w \sqrt{f_c} = 6520939,8 \text{ N}$. Maka yang digunakan sebagai ϕV_n adalah $6520939,8 \text{ N}$

7.4.6 Pemeriksaan Kapasitas Dinding Geser Terhadap Aksial dan Momen

Dari hasil perhitungan tulangan vertikal dan horizontal di sub bab sebelumnya, digunakan program bantu PCACOL untuk memeriksa kapasitas dinding geser terhadap gaya aksial dan momen yang terjadi. Dicoba menggunakan tulangan vertikal yang telah direncanakan sebelumnya.



Gambar 7.5 Diagram interaksi dinding geser

Setelah direncanakan ulang dapat dilihat pada diagram interaksi aksial – momen diatas, kapasitas kolom meningkat dan mampu menerima gaya- gaya dalam yang terjadi.

7.4.7 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Spesial Boundary Element*)

a. Berdasarkan pendekatan tegangan

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} < 0,2 f_c'$$

Dimana ,

$$\begin{aligned}
 y &= l_w / 2 = 4150 / 2 = 2075 \text{ mm} \\
 A_g &= 400 \times 4150 = 1660000 \text{ mm}^2 \\
 I_g &= 1/12 \times b \times h^3 = 1/12 \times 400 \times 4150^3 \\
 &= 2.382 \times 10^{12} \\
 &= \frac{13502.976 \times 10^3}{1660000} + \frac{8033.7651 \times 10^6 \times 2075}{2,3824 \times 10^{12}} \\
 &= 14,34 \text{ MPa} > 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dinding geser memerlukan komponen batas khusus.

- b. Berdasarkan pendekatan perpindahan

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta u}{h_w} \right)}$$

Dimana $\left(\frac{\delta u}{h_w} \right)$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007. Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

$$\text{Arah } y = \left(\frac{\delta u}{h_w} \right) = \left(\frac{23.035}{80000} \right) = 0,00028$$

Maka $\left(\frac{\delta u}{h_w} \right)$ dipakai 0,007.

Dari hasil analisa dan output *sp column* didapatkan garis netral penampang (c) = 1977 mm.

$$1977 \geq \frac{4150}{600(0,007)} = 988,09 \text{ mm}$$

Maka penampang membutuhkan elemen batas khusus.

7.4.8 Penentuan Panjang Elemen Batas Khusus

Dari ketentuan diatas sepanjang panel tersebut harus diberi *special boundary element*. Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.9.6.4 *boundary element* harus dipasang secara horizontal dari sisi tekan serat terluar tidak kurang daripada

$$- (c - 0,1l_w) = 1977 - 415 = 1562 \text{ mm} \approx 1600 \text{ mm}$$

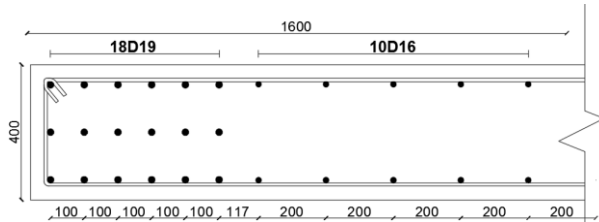
$$- c/2 = 1977 / 2 = 988.5 \text{ mm}$$

Dari perhitungan persyaratan diatas diketahui bahwa penampang seluruh sisinya perlu diberi *special boundary element* sepanjang 1600 mm.

7.4.9 Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal Daerah *Special Boundary Element*

a. Tulangan Longitudinal

Sesuai hasil perhitungan dan pemeriksaan dimensi penampang maupun tulangan yang dipasang didapat jumlah tulangan longitudinal 18D19 dan 10D16.



Dari gambar diatas didapat luas tulangan sepanjang batas khusus adalah

$$A_{S(18D19)} + A_{S(10D16)} = 7114,14 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{\text{Luas batas khusus}} = \frac{7114,14}{400 \times 1600} = 0,011$$

Menurut *Iswandi, 2014*, berdasarkan UBC (1997) :

$$\rho_{hitung} = 0,011 > \rho_{min} = 0,005 \text{ (OK)}$$

b. Tulangan Transversal (*Confinement*) Sejajar Arah Dinding

Dari perhitungan sebelumnya didapat bahwa tulangan transversal sejajar arah dinding dipasang 2D10-300. Setelah itu dilakukan pengecekan terhadap tulangan minimum *confinement* yang disyaratkan.

$$b_c = \text{dimensi inti} \\ = 400 - [(2 \times 40) + (2 \times 13/2)] = 307 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,09 \times s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}}$$

$$= \frac{0,09 \times 1000 \times 307 \times 35}{400} = 2,42 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{2 \times A_s \text{ terpasang}}{A_s \text{ min}}$$

$$= \frac{2 \times 132,73}{2,42} = 109,8 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Jadi hasil perhitungan akhir untuk tulangan transversal sejajar arah dinding menjadi **2D13–100**.

- c. Tulangan Transversal (*Confinement*) tegak lurus terhadap dinding.

Direncanakan menggunakan tulangan D13 fy 400 MPa. Karena tulangan transversal ini mengikuti jarak tulangan longitudinal sebagai pengaitnya maka jumlah kaki pengekang adalah 11 kaki.

Karakteristik inti penampang :

b_c = dimensi inti

$$= 1600 - [(2 \times 40) + (2 \times 10/2)] = 1500 \text{ mm}$$

Direncanakan jarak *confinement* $s = 100 \text{ mm}$

$$A_s \text{ min} = \frac{0,09 \times s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}}$$

$$= \frac{0,09 \times 100 \times 1500 \times 35}{400} = 1181,25 \text{ mm}^2$$

Direncanakan terdapat 10 *confinement*

$$A_s \text{ terpasang} = 10 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 1327,32 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ terpasang} = 1327,32 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} = 1181 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan *confinement* yang terpasang memenuhi tulangan minimum.

7.4.10 Panjang Penyaluran Tulangan

Berdasarkan Agus Setiawan, 2016 panjang penyaluran tulangan D16 yang dibutuhkan l_{dh} , diambil tidak kurang dari yang terbesar berikut,

$$- 8d_b = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$$

$$- 150 \text{ mm}$$

$$- S_x = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c'}} = \frac{392 \times 16}{5,4 \sqrt{35}} = 196,326 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Untuk sambungan tulangan dalam kondisi tekan menurut SNI 2847 2013 Pasal 12.16.

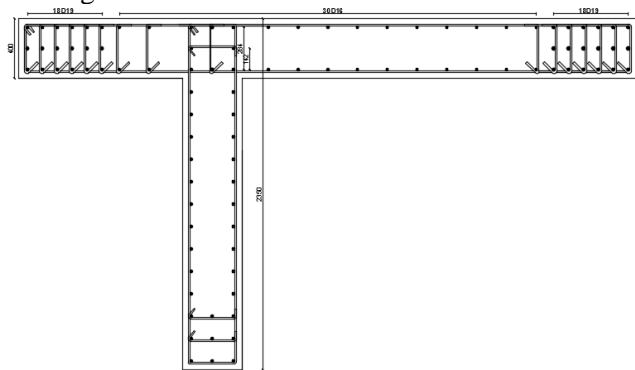
$$l_d > 0,071 f_y d_b$$

$$l_d > 0,071 \times 392 \times 16 = 445,312 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

Maka untuk sambungan tulangan longitudinal dinding digunakan $l_d = 500 \text{ mm}$

7.4.11 Desain Dinding

Dengan perhitungan yang sama maka desain dinding arah Y digabungkan menjadi satu kesatuan dengan dinding arah X.



Gambar 7.6 Detail Penulangan Dinding

BAB VII

PERHITUNGAN STRUKTUR BAJA

Balok baja pada bangunan ini memiliki panjang bentang yang berbeda – beda mengikuti bentuk bangunan. Dalam perencanaan dimensi, dilakukan metode *trial n error*. Untuk mengontrol kapasitas terhadap gaya dalam, balok – balok yang memiliki ukuran yang sama dipilih gaya dalam yang paling maksimum dan memiliki bentang yang paling panjang.

8.1 Balok Induk I

8.1.1 Data Balok

Digunakan balok baja WF 588 x 300 x 20 x 12 dengan panjang bentang (L) = 12000 mm mutu BJ41 → $f_y = 250$ MPa.

A	=	19250	mm^2	h_f	=	568	mm
tw	=	12	mm	r	=	28	mm
tf	=	20	mm	i_x	=	247.6	mm
I_x	=	1180000000	mm^4	i_y	=	68.5	mm
I_y	=	90200000	mm^4	S_x	=	4020000	mm^3
bf	=	300	mm	S_y	=	601000	mm^3
d	=	588	mm	Z_x	=	4308912	mm^3
hw	=	548	mm	Z_y	=	919728	mm^3

8.1.2 Data Gaya Dalam

Data didapat dari hasil analisis SAP 2000 dengan kombinasi beban yang menghasilkan gaya maksimum.

$M_{ux} = 530981331$ Nmm

$M_{uy} = 129850638$ Nmm

$V_u = 331567.75$ N

8.1.3 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal

Dalam menentukan kapasitas momen terhadap profil baja yaitu tebal sayap dan badan diatur dalam *Tabel B4.1b SNI 1729 2015*. Dari tabel tersebut dapat diketahui mengenai kategori profil yang digunakan.

a. Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 20} = 7,5$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 28,28$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

b. Badan

$$\lambda = \frac{h_w}{t_w} = \frac{548}{12} = 45,667$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 161,22$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

Dari persyaratan diatas, diketahui bahwa penampang merupakan penampang kompak, maka momen kapasitas (M_n) = M_p

$$M_p = f_y \cdot Z$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 4308912 \\ &= 1077228000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 919728 \\ &= 229932000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek kemampuan penampang

$$\begin{aligned} \phi_b M_{nx} &= 0,9 \times 1077228000 \\ &= 969505200 \text{ Nmm} > 530981331 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_b M_{ny} &= 0,9 \times 229932000 \\ &= 206938800 \text{ Nmm} > 129850638 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

8.1.4 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral

Tekuk lateral pada balok dipengaruhi oleh panjang kekangan samping dimana suatu balok lainnya (balok breis) tesambung dengan balok yang dimaksud. Jarak antar balok breis pada bangunan ini bermacam – macam pada setiap lantai karena mengikuti bentuk bangunan. Oleh sebab itu digunakan panjang antar balok yang paling panjang untuk perhitungan kapasitas balok.

$$L_b = 2500 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 68,5 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3409 \text{ mm}$$

$L_b = 2500 < L_p = 3166 \text{ mm}$, maka termasuk bentang pendek

Dari persyaratan diatas diketahui bahwa bentang balok termasuk bentang pendek, maka momen kapasitas (M_n) = M_p

$$M_p = f_y \cdot Z$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 4308912 \\ &= 1077228000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 919728 \\ &= 229932000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek kemampuan penampang

$$\begin{aligned} \phi_b M_{nx} &= 0,9 \times 1077228000 \\ &= 969505200 \text{ Nmm} > 530981331 \text{ Nmm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_b M_{ny} &= 0,9 \times 229932000 \\ &= 206938800 \text{ Nmm} > 129850638 \text{ Nmm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

8.1.5 Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 1729 2015 Pasal G2.1 kuat nominal geser profil dirumuskan sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

Dimana,

$$A_w = \text{Luas badan} = d t_w = 588 \times 12 = 7056 \text{ mm}^2$$

C_v = Koefisien geser badan, dipengaruhi oleh perbandingan tinggi dan tebal badan.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{k_v E / f_y}$$

Dimana k_v (koefisien tekuk geser) yang direncanakan profil tanpa pengaku transversal,

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260 \rightarrow \frac{548}{12} = 45,67 \leq 260, \text{ maka } k_v = 5$$

$$45,67 \leq 1,10 \sqrt{5 \times 2000000 / 250} = 69,57$$

Maka $C_v = 1,0$

Cek kapasitas penampang

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

$$= 0,6 \times 250 \times 7056 \times 1,0 = 1058400 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \times 1058400$$

$$= 952560 \text{ N} > V_u = 331567,75 \text{ N (OK)}$$

8.2 Balok Induk II

8.2.1 Data Balok

Digunakan balok baja WF 500 x 200 x 10 x 16 bentang (L) = 12000 mm dengan mutu BJ41 $\rightarrow f_y = 250 \text{ MPa}$.

A	$=$	11420	mm^2	h_f	$=$	484	mm
t_w	$=$	10	mm	r	$=$	20	mm
t_f	$=$	16	mm	i_x	$=$	204,6	mm
I_x	$=$	478000000	mm^4	i_y	$=$	43,3	mm
I_y	$=$	21400000	mm^4	S_x	$=$	1912000	mm^3
b_f	$=$	200	mm	S_y	$=$	214000	mm^3
d	$=$	500	mm	Z_x	$=$	2096360	mm^3
h_w	$=$	468	mm	Z_y	$=$	331700	mm^3

8.2.2 Data Gaya Dalam

Data didapat dari hasil analisis SAP 2000 dengan kombinasi beban yang menghasilkan gaya maksimum.

$$M_{ux} = 344731867 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 57317834 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 238047,67 \text{ N}$$

8.2.3 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal

Dalam menentukan kapasitas momen terhadap profil baja yaitu tebal sayap dan badan diatur dalam *Tabel B4.1b SNI 1729 2015*. Dari tabel tersebut dapat diketahui mengenai kategori profil yang digunakan.

a. Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{200}{2 \times 16} = 6,25$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 28,28$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

b. Badan

$$\lambda = \frac{h_w}{t_w} = \frac{548}{12} = 45,667$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 161,22$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

Dari persyaratan diatas, diketahui bahwa penampang merupakan penampang kompak, maka momen kapasitas (M_n) = M_p

$$M_p = f_y \cdot Z$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 2096360 \\ &= 524090000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 331700 \\ &= 82925000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek kemampuan penampang

$$\begin{aligned} \phi_b M_{nx} &= 0,9 \times 524090000 \\ &= 471681000 \text{ Nmm} > 344731867 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

$$\phi_b M_{ny} = 0,9 \times 82925000$$

$$= 74632500 \text{ Nmm} > 57317834 \text{ Nmm (OK)}$$

8.2.4 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral

Tekuk lateral pada balok dipengaruhi oleh panjang kekangan samping dimana suatu balok lainnya (balok breis) tesambung dengan balok yang dimaksud. Jarak antar balok breis pada bangunan ini bermacam – macam pada setiap lantai karena mengikuti bentuk bangunan. Oleh sebab itu digunakan panjang antar balok yang paling panjang untuk perhitungan kapasitas balok.

$$L_b = 2500 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 43,3 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2155 \text{ mm}$$

$L_b = 2500 > L_p = 2155 \text{ mm}$, maka dilakukan perhitungan L_r untuk mengetahui lebih lanjut kategori bentang balok.

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}}$$

Dimana ,

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{21400000 \times 42689535000}}{324000}$$

$$r_{ts} = 33,0669$$

$$h_o = d - t_f = 500 - 16 = 484 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95 \times 33,069 \times \frac{200000}{0,7 \times 250} \sqrt{\frac{707466,67}{1912000 \times 484} + \sqrt{\left(\frac{707466,67}{1912000 \times 484}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times 250}{200000}\right)^2}}$$

$$= 6524,544 \text{ mm}$$

Dari persyaratan diatas diketahui $L_p < L_b < L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 2096360 \\ &= 524090000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 331700 \\ &= 82925000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$C_b = \frac{12 M_{max}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

Dimana,

$$M_A = \text{Nilai momen pada } \frac{1}{4} \text{ bentang} \\ = 129469750 \text{ Nmm}$$

$$M_B = \text{Nilai momen pada } \frac{1}{2} \text{ bentang} \\ = 105000099 \text{ Nmm}$$

$$M_C = \text{Nilai momen pada } \frac{3}{4} \text{ Bentang} \\ = 129469750 \text{ Nmm}$$

$$C_b = \frac{12 \times 524090000}{2,5 \times 524090000 + 3 \times 129469750 + 4 \times 105000099 + 3 \times 129469750} \\ C_b = 1,99$$

$$M_{nx} = 1,99 \left[524090000 - (524090000 - 0,7 \times 250 \times 1912000) \left(\frac{2500-2155}{6394,371-2155} \right) \right] = 1018904773 \text{ Nmm}$$

$$M_{ny} = 1,99 \left[82925000 - (82925000 - 0,7 \times 250 \times 1912000) \left(\frac{2500-2155}{6394,371-2155} \right) \right] = 158627692,7 \text{ Nmm}$$

Cek kemampuan penampang

$$\phi_b M_{nx} = 0,9 \times 1018904773 \\ = 917014295,7 \text{ Nmm} > 344731867 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\phi_b M_{ny} = 0,9 \times 158627692,7 \\ = 142764923,4 \text{ Nmm} > 57317834 \text{ Nmm (OK)}$$

8.2.5 Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 1729 2015 Pasal G2.1 kuat nominal geser profil dirumuskan sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

Dimana,

$$A_w = \text{Luas badan} = d t_w = 500 \times 10 = 5000 \text{ mm}^2$$

C_v = Koefisien geser badan, dipengaruhi oleh perbandingan tinggi dan tebal badan.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{k_v E / f_y}$$

Dimana k_v (koefisien tekuk geser) yang direncanakan profil tanpa pengaku transversal,

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260 \rightarrow \frac{468}{10} = 46,8 \leq 260, \text{ maka } k_v = 5$$

$$46,8 \leq 1,10 \sqrt{5 \times 200000 / 250} = 69,57$$

$$\text{Maka } C_v = 1,0$$

Cek kapasitas penampang

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

$$= 0,6 \times 250 \times 5000 \times 1,0 = 750000 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \times 750000$$

$$= 833333,33 \text{ N} > V_u = 238047,67 \text{ N (OK)}$$

8.3 Balok Anak I

Perencanaan balok anak berikut didesain hanya untuk menerima beban gravitasi dengan kombinasi beban yang maksimum. Balok anak pada bangunan ini terdapat beberapa profil namun untuk perhitungan hanya satu profil yang dihitung.

8.3.1 Data Balok

Digunakan balok baja H250 x 125 x 6 x 9 panjang bentang (L) = 5800 mm dengan mutu BJ41 $\rightarrow f_y = 250$ MPa.

A	=	3766	mm ²	h_f	=	241	mm
tw	=	6	mm	r	=	12	mm
tf	=	9	mm	ix	=	103,7	mm
I_x	=	40500000	mm ⁴	iy	=	27,9	mm
I_y	=	2940000	mm ⁴	S_x	=	324000	mm ³
bf	=	125	mm	S_y	=	47000	mm ³
d	=	250	mm	Z_x	=	351861	mm ³
hw	=	232	mm	Z_y	=	72400,5	mm ³

8.3.2 Data Gaya Dalam

Data didapat dari hasil analisis SAP 2000 dengan kombinasi beban yang menghasilkan gaya maksimum.

$$M_{ux} = 41111335 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 4657114 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 54858,36 \text{ N}$$

8.3.3 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lokal

Dalam menentukan kapasitas momen terhadap profil baja yaitu tebal sayap dan badan diatur dalam *Tabel B4.1b SNI 1729 2015*. Dari tabel tersebut dapat diketahui mengenai kategori profil yang digunakan.

- Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{125}{2 \times 9} = 6,944$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 28,28$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

- Badan

$$\lambda = \frac{h_w}{t_w} = \frac{232}{6} = 34,667$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 161,22$$

$\lambda < \lambda_p$, maka penampang yang direncanakan termasuk penampang kompak.

Dari persyaratan diatas, diketahui bahwa penampang merupakan penampang kompak, maka momen kapasitas (M_n) = M_p

$$M_p = f_y \cdot Z$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 351861 \\ &= 87965250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 72400,5 \\ &= 18100125 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek kemampuan penampang

$$\begin{aligned} \phi_b M_{nx} &= 0,9 \times 87965250 \\ &= 79168725 \text{ Nmm} > 41111335 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

$$\phi_b M_{ny} = 0,9 \times 18100125$$

$$= 16290112,5 \text{ Nmm} > 4657114 \text{ Nmm (OK)}$$

8.3.4 Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral

Pada balok anak sisi lateral tidak terdapat pengaku sehingga panjang pengaku lateral sama dengan panjang bentang.

$$L_b = 5800 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 27,9 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1388,8 \text{ mm}$$

$L_b = 5800 > L_p = 3166 \text{ mm}$, maka dilakukan perhitungan L_r untuk mengetahui lebih lanjut kategori bentang balok. L_r dihitung dengan cara yang sama dengan balok induk yaitu 4350 mm.

$$L_b > L_r$$

$$M_n = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \text{Sumbu X} \rightarrow M_{px} &= f_y \cdot Z_x = 250 \times 351861 \\ &= 87965250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu Y} \rightarrow M_{py} &= f_y \cdot Z_y = 250 \times 331700 \\ &= 82925000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$C_b = \frac{12M_{max}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} M_A &= \text{Nilai momen pada } \frac{1}{4} \text{ bentang} \\ &= 4161315,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= \text{Nilai momen pada } \frac{1}{2} \text{ bentang} \\ &= 1609763 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_C &= \text{Nilai momen pada } \frac{3}{4} \text{ Bentang} \\ &= 4161315,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$C_b = \frac{12 \times 41111335}{2,5 \times 41111335 + 3 \times 4161315,05 + 4 \times 1609763 + 3 \times 4161315,05}$$

$$C_b = 3,6 > 2,3, \text{ maka } C_b = 2,3$$

$$M_n =$$

$$2,3 \frac{\pi}{5800} \sqrt{200000 \times 2940000 \times 76923,08 + \left(\frac{\pi \times 200000}{58000}\right)^2 2940000 \times 42689535000}$$

Cek kemampuan penampang

$$\phi_b M_n = 0,9 \times 155197656,7$$

$$= 139677891 \text{ Nmm} > 41111335 \text{ Nmm (OK)}$$

8.3.5 Kontrol Penampang Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 1729 2015 Pasal G2.1 kuat nominal geser profil dirumuskan sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

Dimana,

$$A_w = \text{Luas badan} = d t_w = 250 \times 6 = 1500 \text{ mm}^2$$

C_v = Koefisien geser badan, dipengaruhi oleh perbandingan tinggi dan tebal badan.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{k_v E / f_y}$$

Dimana k_v (koefisien tekuk geser) yang direncanakan profil tanpa pengaku transversal,

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260 \rightarrow \frac{250}{6} = 41,67 \leq 260, \text{ maka } k_v = 5$$

$$41,67 \leq 1,10 \sqrt{5 \times 200000 / 250} = 69,57$$

Maka $C_v = 1,0$

Cek kapasitas penampang

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \times 250 \times 1500 \times 1,0 = 225000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_v V_n &= 0,9 \times 225000 \\ &= 202500 \text{ N} > V_u = 54858,36 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

8.4 Perencanaan Sambungan

8.4.1 Sambungan Balok Anak Baja dengan Balok Induk Baja II

Balok anak yang disambungkan adalah balok H250.125.6.9 ke balok induk H500.200.14.19. Untuk menyambungkan balok anak dipasang ke pelat yang dilas tegak lurus terhadap balok yang kemudian pelat penyambung tersebut dilubangi sejumlah jumlah baut yang akan direncanakan.

Sambungan las pelat penyambung balok anak tidak ditampilkan dalam perhitungan.

Gaya dalam yang terjadi disambungan berdasarkan hasil analisis SAP yaitu

$$V_u = 54858,36 \text{ N}$$

Data Perencanaan

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm } (A_b = 113,09 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Mutu Baut} = A325$$

$$F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} = 370 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu logam las} = E70xx$$

$$(F_{exx}) = 490 \text{ Mpa}$$

$$\text{Pelat penyambung } t = 10 \text{ mm}$$

Spasi baut

$$\text{Spasi baut maksimum} = 14 \text{ tebal bagian tertipis}$$

$$= 14 \times 6 = 84 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi baut minimum} = 3D$$

$$= 3 \times 12 = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi yang digunakan} = 80 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut

$$\text{Jarak maksimum} = 12 \cdot \text{tebal yang disambung}$$

$$= 12 (10 + 10) = 240 > 150$$

$$= 150 \text{ (yang digunakan)}$$

$$\text{Jarak minimum} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi yang digunakan} = 30 \text{ mm.}$$

Sambungan las

$$\text{throat efektif} = \text{SNI 03-1729-2015, Tabel J2.4}$$

$$= 5 \text{ mm}$$

$$\text{- Kuat rencana las sudut} = 0,75 \times 5 \times (0,6 \times 490)$$

$$= 1102,5 \text{ Mpa}$$

$$\text{- Kapasitas geser pelat} = 0,75 \times 10 \times 0,6 \times 400$$

$$= 1800 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kapasitas las} = 1102,5 < \text{Kapasitas pelat} = 1800 \text{ (OK)}$$

$$\text{- Panjang total las yang dibutuhkan}$$

$$(L_w) = \frac{54858,36}{1102,5} = 49,76 \text{ mm}$$

Maka direncanakan panjang las diantara 100 mm setiap sisi.

Kuat nominal baut

Kuat Geser Baut

Menurut *SNI 1729 2015 Ps.J3 No. 6*

$$\phi R_n = F_{nv} A_b$$

Dimana,

$$\phi = 0,75$$

F_n = Tegangan geser nominal baut ditentukan oleh SNI 1729 2015 Tabel J3.2 , $F_n = 372$ MPa

$$\phi R_n = 0,75 \times 372 \times 113,09 = 31552,1 \text{ N (menentukan)}$$

Kuat Tumpu Baut

$$\phi R_n = 1,2 l_c t F_u$$

$$= 1,2(80-12) \times 10 \times 410$$

$$= 334560 \text{ N}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{54858,36}{31552,1} = 1,73, \text{dipasang 6 buah.}$$

Kuat nominal elemen penyambung

$$A_{gv} = t H_{\text{balok anak}}$$

$$= 6 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm}$$

$$= 1500 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - (t \cdot D_o \cdot n/2)$$

$$= 1500 \text{ mm}^2 - (10 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm} \cdot 6/2)$$

$$= 1176 \text{ mm}^2$$

Untuk pelelehan geser :

$$\phi R_n = 1,0 \cdot 6 \cdot F_y \cdot A_{gv}$$

$$= 1,0 \cdot 6 \cdot 250 \text{ Mpa} \cdot 1500 \text{ mm}^2$$

$$= 225000 \text{ N}$$

Untuk keruntuhan geser :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$$

$$= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 410 \text{ Mpa} \cdot 1176 \text{ mm}^2$$

$$= 216972 \text{ N}$$

Cek

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$54858,36 \text{ N} < 216972 \text{ N (OK)}$$

8.4.2 Sambungan Balok Induk Baja II dengan Balok Induk Baja I

Balok anak yang disambungkan adalah balok H500.200.14.19 ke balok induk H588.300.20.12 .Untuk

menyambungkan balok anak dipasang ke pelat yang dilas tegak lurus terhadap balok yang kemudian pelat penyambung tersebut dilubangi sejumlah jumlah baut yang akan direncanakan.

Sambungan las pelat penyambung balok anak tidak ditampilkan dalam perhitungan.

Gaya dalam yang terjadi disambungan berdasarkan hasil analisis SAP yaitu

$$V_u = 238047,67 \text{ N}$$

Data Perencanaan

$$\varnothing \text{ baut} = 16 \text{ mm } (A_b = 201,06 \text{ mm}^2)$$

Mutu Baut (A325)

Pelat penyambung $t = 10 \text{ mm}$

Spasi baut

$$\begin{aligned} \text{Spasi baut maksimum} &= 14 \text{ tebal bagian tertipis} \\ &= 14 \times 10 = 140 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi baut minimum} &= 3D \\ &= 3 \times 16 = 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi yang digunakan} = 90 \text{ mm}$$

Jarak tepi baut

$$\begin{aligned} \text{Jarak maksimum} &= 12 \cdot \text{tebal yang disambung} \\ &= 12 (10 + 10) = 240 > 150 \\ &= 150 \text{ (yang digunakan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak minimum} &= \text{SNI 1729 2015 Tabek J3.4M} \\ &= 22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi yang digunakan} = 40 \text{ mm.}$$

Sambungan las

$$\begin{aligned} \text{throat efektif} &= \text{SNI 03-1729-2015, Tabel J2.4} \\ &= 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Kuat rencana las sudut} &= 0,75 \times 5 \times (0,6 \times 490) \\ &= 1102,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Kapasitas geser pelat} &= 0,75 \times 10 \times 0,6 \times 400 \\ &= 1800 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas las} = 1102,5 < \text{Kapasitas pelat} = 1800 \text{ (OK)}$$

$$- \text{Panjang total las yang dibutuhkan}$$

$$(L_w) = \frac{238047,67}{1102,5} = 215 \text{ mm}$$

Maka direncanakan panjang las diantara 200 mm setiap sisi.

Kuat nominal baut

Kuat Geser Baut

Menurut SNI 1729 2015 Ps.J3 No. 6

$$\phi R_n = F_{nv} A_b$$

Dimana,

$$\phi = 0,75$$

F_n = Tegangan geser nominal baut ditentukan oleh SNI 1729 2015 Tabel J3.2 , $F_n = 372 \text{ MPa}$

$$\phi R_n = 0,75 \times 372 \times 201,06 = 56095,74 \text{ N (menentukan)}$$

Kuat Tumpu Baut

$$\phi R_n = 1,2 l_c t F_u$$

$$= 1,2(90-16) \times 10 \times 410$$

$$= 364080 \text{ N}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{238047,67}{56095,74} = 4,24, \text{dipasang 8 buah.}$$

Kuat nominal elemen penyambung (pelat)

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t H_{\text{balok anak}} \\ &= 10 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} \\ &= 5000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} - (t \cdot D_o \cdot n / 2) \\ &= 5000 \text{ mm}^2 - (10 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm} \cdot 8 / 2) \\ &= 4280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk pelelehan geser :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,0 \cdot 6 \cdot F_y \cdot A_{gv} \\ &= 1,0 \cdot 6 \cdot 250 \text{ Mpa} \cdot 5000 \text{ mm}^2 \\ &= 750000 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk keruntuhan geser :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 410 \text{ Mpa} \cdot 4280 \text{ mm}^2 \\ &= 789660 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

$$238047,67 \text{ N} < 750000 \text{ N (OK)}$$

8.4.3 Sambungan Angkur Beton Balok Induk Baja I dengan Kolom Beton

Sambungan balok induk baja I (H588.300.20x12) dengan kolom beton didesain menggunakan sambungan angkur dengan kedalaman angkur yang mampu menahan gaya tarik dan geser.

Dari data sebelumnya , gaya geser rencana balok induk

$$V_u = 331567,75 \text{ N}$$

$$N_u = 779838 \text{ N}$$

$$M_u = 530981331 \text{ Nmm}$$

Data Perencanaan

$$\varnothing_{\text{baut}} = 19 \text{ mm (} A_b = 283,53 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Mutu Angkur

$$F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} = 370 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu logam las} = E70xx$$

$$(F_{exx}) = 490 \text{ Mpa}$$

$$\text{Pelat penyambung (t)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang angkur (h}_{ef}\text{)} = 200 \text{ mm}$$

• Spasi antar angkur

Menurut Dewobroto (2016) untuk menghindari kerusakan akibat pecah belah (*splitting*) spasi baut angkur minimum adalah $6d_a = 6 \times 19 = 114 \approx 120 \text{ mm}$.

• Sambungan Las

$$\text{throat efektif} = \text{SNI 03-1729-2015, Tabel J2.4}$$

$$= 5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{- Kuat rencana las sudut} &= 0,75 \times 5 \times (0,6 \times 490) \\ &= 1102,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Kapasitas geser pelat} &= 0,75 \times 10 \times 0,6 \times 400 \\ &= 1800 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas las} = 1102,5 < \text{Kapasitas pelat} = 1800$$

(OK)

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$(L_w) = \frac{331567,75}{1102,5} = 300,7 \text{ mm}$$

Maka direncanakan panjang las diantara 300 mm setiap sisi.

• **Kontrol kuat angkur terhadap gaya tarik**

$$N_{sa} = A_{se,n} f_{uta}, \text{ dan } f_{uta} < 1,9 f_{ya}$$

$$f_{uta} < 890 \text{ MPa}$$

Dimana, V_{sa} = Kuat geser angkur (N)

$A_{se,n}$ = Luas tulangan angkur (mm^2)

$$= \frac{1}{4} \pi 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

f_{uta} = Kuat tarik baut (MPa)

$$= 620 \text{ MPa}$$

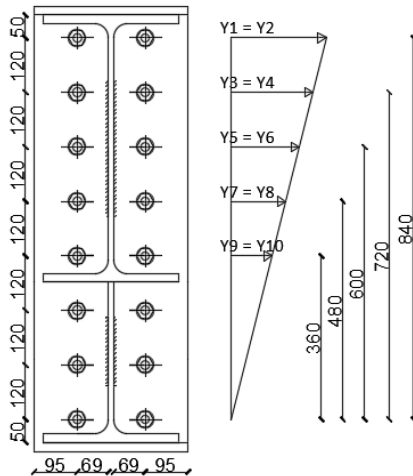
Perkiraan Jumlah angkur

$$N_{sa} = \phi N_u$$

$$779838 = 0,75 \times 283,53 \times 620 \times n$$

$n = 12,2 \approx 16$ buah. (Cek Kontrol Jebol dan Pecah)

Untuk perhitungan gaya akibat momen yang terjadi pada angkur dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8.1 Reaksi angkur terhadap momen balok induk baja I

$$T_U = \frac{M_U}{2 \times \Sigma Y}$$

$$= \frac{530981331}{2 \times 3000} = 88496,8 \text{ N}$$

Kontrol

$$\begin{array}{ll} \text{Nu} & < \phi N_n \\ 88496,8 \text{ N} & < 0,75 \times 283,53 \times 620 \text{ N} \\ 88496,8 \text{ N} & < 131841,45 \text{ N (OK)} \end{array}$$

- **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton terhadap tarik**

Menurut SNI 2847 2013 Lampiran D Pasal D.5.2.1 kuat jebol nominal terhadap tarik untuk kelompok angkur adalah

Posisi angkur adalah ditanam ke kolom beton dapat dianggap $c_{a1} = \infty$ mm atau tepi beton pada kolom sangat jauh atau bahkan tidak ada maka evaluasi kuat jebol beton tidak perlu ditinjau.

- **Kontrol kuat ambrol muka tepi terhadap tarik**

Posisi angkur dipinggir $h_{ef} = 200 \text{ mm} < 2,5 c_{a1} = \infty$ mm, maka pengaruh ambrol muka tepi beton tidak perlu dievaluasi.

- **Kontrol kuat angkur terhadap geser**

Menurut SNI 2847 2013 Lampiran D Pasal D.6.1.2 kuat nominal angkur terhadap kondisi geser adalah

$$V_{se} = 0,6 A_{se} f_{uta}$$

Dimana,

$$A_{se,N} = A_{se,v} = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$V_{sa} = 0,6 \times 283,53 \times 620 = 105473,16 \text{ N}$$

$$\phi V_{sa} = 0,65 \times 105473,16 \times 16$$

$$= 1096920,864 \text{ N} > V_u = 331567,75 \text{ N (OK)}$$

- **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi geser.**

Posisi angkur dipinggir $c_{a1} = \infty$ mm, maka kuat jebol beton terhadap geser tidak perlu dievaluasi.

- **Kuat pecah (*pryout*) beton angkur dalam kondisi geser**

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal D.6.3.1 kuat pecah beton angkur

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cpg}$$

Dimana, $k_{cp} = 2,0$, ($h_{ef} = 200 \text{ mm} > 65 \text{ mm}$)

$$N_{cpg} = k_c \lambda_a \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1,5}$$

Dimana, $k_c = 10$ (Angkur dicor didalam)

$$N_{cpg} = 10 \times 1 \sqrt{30} \times 200^{1,5} = 154919.3 \text{ N}$$

$$V_{cpg} = 2 \times 154919.3 = 309838.7 \text{ N}$$

Cek Kemampuan Beton Angkur

$$V_u < \phi V_{cpgn}$$

$$331567,75 < 0,7 \times 309838.7 \times 16 = 3470193,44 \text{ (OK)}$$

Kesimpulan

Tulangan angkur beton dipasang 16Ø19 mm dengan panjang penanaman angkur 200 mm.

• **Kontrol interaksi gaya tarik dan geser**

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} < 1,2$$

$$\frac{88496,8}{131841,45} + \frac{331567,75}{1096920,864} = 0,97 < 1,2 \text{ (OK)}$$

8.4.4 Sambungan Angkur Beton Balok Induk Baja II dengan Kolom Beton

Sambungan balok induk baja II (H500x200x14x19) dengan kolom beton didesain menggunakan sambungan angkur dengan kedalaman angkur yang mampu menahan gaya tarik dan geser. Dari data sebelumnya , gaya geser rencana balok induk

$$M_u = 265623783 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 238047,67 \text{ N}$$

$$N_u = 698588.18 \text{ N.}$$

Data Perencanaan

$$\phi_{\text{baut}} = 19 \text{ mm (} A_b = 283,53 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Mutu Angkur

$$f_{nt} = 620 \text{ Mpa}$$

$$f_{nv} = 370 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu logam las} = E70xx$$

$$(F_{exx}) = 490 \text{ Mpa}$$

$$\text{Pelat penyambung (t)} = 10 \text{ mm}$$

Panjang angkur (h_{ef}) = 200 mm

• **Sambungan las**

throat efektif = SNI 03-1729-2015, Tabel J2.4

= 5 mm

- Kuat rencana las sudut = $0,75 \times 5 \times (0,6 \times 490)$
= 1102,5 Mpa

- Kapasitas geser pelat = $0,75 \times 10 \times 0,6 \times 400$
= 1800 Mpa

Kapasitas las = 1102,5 < Kapasitas pelat = 1800
(OK)

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$(L_w) = \frac{238047,67}{1102,5} = 215,9 \text{ mm}$$

Maka direncanakan panjang las diantara 200 mm setiap sisi.

• **Kontrol kuat angkur terhadap gaya tarik**

$N_{sa} = A_{se,n} f_{uta}$, dan $f_{uta} < 1,9 f_{ya}$

$f_{uta} < 890 \text{ MPa}$

Dimana, V_{sa} = Kuat geser angkur (N)

$A_{se,n}$ = Luas tulangan angkur (mm^2)

$$= \frac{1}{4} \pi 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

f_{uta} = Kuat tarik baut (MPa)

= 620 MPa

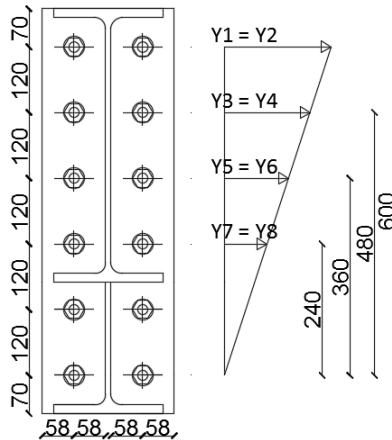
Perkiraan Jumlah angkur

$$N_{sa} = \phi N_u$$

$$698588,18 = 0,75 \times 283,53 \times 620 \times n$$

$n = 5,29 \approx 12$ buah. (Cek Kontrol Jebol dan Pecah)

Untuk perhitungan gaya akibat momen yang terjadi pada angkur dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8.2 Reaksi angkur terhadap momen balok induk baja II

Reaksi angkur terhadap momen yang terjadi

$$T_U = \frac{M_U}{2 \times \Sigma Y} = \frac{344731867}{2 \times 1680} = 102598.77 \text{ N}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} N_u &< \phi N_n \\ 102598.77 \text{ N} &< 0,75 \times 283,53 \times 620 \text{ N} \\ 102598.77 \text{ N} &< 131841,45 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

- **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton terhadap tarik**
Posisi angkur dipinggir $c_{a1} = \infty$ mm, maka kuat jebol beton terhadap geser tidak perlu dievaluasi.
- **Kontrol kuat ambrol muka tepi terhadap tarik**
Posisi angkur dipinggir $h_{ef} = 200$ mm $< 2,5 c_{a1} = 300$ mm, maka pengaruh ambrol muka tepi beton tidak perlu dievaluasi.
- **Kontrol kuat angkur terhadap geser**
Menurut SNI 2847 2013 Lampiran D Pasal D.6.1.2 kuat nominal angkur terhadap kondisi geser adalah $V_{se} = 0,6 A_{se} f_{uta}$
Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_{se,N} &= A_{se,v} = 283,53 \text{ mm}^2 \\
 V_{sa} &= 0,6 \times 283,53 \times 620 = 105473,2 \text{ N} \\
 \phi V_{sa} &= 0,65 \times 105473,2 \times 12 \\
 &= 822690,6 \text{ N} > V_u = 238047,67 \text{ N (OK)}
 \end{aligned}$$

• **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi geser.**

Posisi angkur dipinggir $c_{a1} = \infty$ mm, maka kuat jebol beton terhadap geser tidak perlu dievaluasi.

• **Kuat pecah (*pryout*) beton angkur dalam kondisi geser**

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal D.6.3.1 kuat pecah beton angkur

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cpg}$$

Dimana, $k_{cp} = 2,0$, ($h_{ef} = 200 \text{ mm} > 65 \text{ mm}$)

$$N_{cpg} = k_c \lambda_a \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1,5}$$

Dimana, $k_c = 10$ (Angkur dicor didalam)

$$N_{cpg} = 10 \times 1 \sqrt{30} \times 200^{1,5} = 154919,3 \text{ N}$$

$$V_{cpg} = 2 \times 154919,3 = 309838,7 \text{ N}$$

Cek Kemampuan Beton Angkur

$$V_u < \phi V_{cpg}$$

$$238047,67 < 0,7 \times 309838,7 \times 14 = 3036418,94 \text{ (OK)}$$

Kesimpulan

Tulangan angkur beton dipasang 12Ø19 mm dengan panjang penanaman angkur 200 mm.

• **Kontrol interaksi gaya tarik dan geser**

Berdasarkan ACI 2011 D-7 ketentuan rasio terhadap kuat rencana terhadap gaya tarik dan geser yang terjadi bersamaan

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} < 1,2$$

$$\frac{102598,77}{131841,45} + \frac{238047,67}{822690,6} = 1,06 < 1,2 \text{ (OK)}$$

8.4.5 Sambungan Angkur Beton Balok Anak Baja dengan Balok Induk Beton

Sambungan balok anak baja H250.125.6.9 dengan balok induk beton 650/400 didesain menggunakan sambungan angkur dengan kedalaman angkur yang mampu menahan gaya tarik dan geser. Dari data sebelumnya, gaya geser rencana balok induk $V_u = 54858,36$ N dan gaya tarik aksial $N_u = 134372$ N. Direncanakan panjang penanaman angkur (h_{ef}) = 100 mm dengan diameter angkur $\varnothing 12$ mm mutu A36 $f_y = 250$ MPa dan $F_u = 400$ MPa.

- **Spasi angkur**

Menurut Dewobroto (2016) untuk menghindari kerusakan akibat pecah belah (*splitting*) spasi baut angkur minimum adalah $6d_a = 6 \times 12 = 78 \approx 80$ mm.

- **Sambungan Las**

throat efektif = SNI 03-1729-2015, Tabel J2.4
= 5 mm

- Kuat rencana las sudut = $0,75 \times 5 \times (0,6 \times 490)$
= 1102,5 Mpa

- Kapasitas geser pelat = $0,75 \times 10 \times 0,6 \times 400$
= 1800 Mpa

Kapasitas las = 1102,5 < Kapasitas pelat = 1800
(OK)

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$(L_w) = \frac{54858,36}{1102,5} = 50 \text{ mm}$$

Maka direncanakan panjang las diantara 100 mm setiap sisi.

- **Kontrol Kuat Angkur terhadap Gaya Tarik**

$V_{sa} = A_{se,v} f_{uta}$, dan $f_{uta} < 1,9 f_{ya}$
400 MPa < 475 MPa (OK)
400 MPa < 890 MPa (OK)

Dimana, V_{sa} = Kuat geser angkur (N)

$A_{se,n}$ = Luas tulangan angkur (mm^2)

$$= \frac{1}{4} \pi 12^2 \times 0,75 = 84,8 \text{ mm}^2$$

f_{uta} = Kuat tarik baut (MPa)

f_{ya} = Kuat leleh angkur (MPa)

Perkiraan Jumlah angkur

$$N_{sa} = \phi Nu$$

$$134372 = 0,75 \times 84,82 \times 400 \times n$$

$n = 5,3 \approx 6$ buah. (Cek Kontrol Jebol dan Pecah)

- **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton terhadap tarik**

Direncanakan jarak c_{a1} = (tinggi balok beton – tinggi balok baja) + (tinggi balok baja/ (n baut+1)) = (650-250)+(250/4) = 462,5 mm

Posisi angkur $c_{a1} = 321 \text{ mm} > 1,5 h_{ef} = 150 \text{ mm}$ maka pengaruh jebol beton tidak perlu dievaluasi.

- **Kontrol kuat ambrol muka tepi terhadap tarik**

Posisi angkur dipinggir $h_{ef} = 100 \text{ mm} < 2,5 c_{a1} = 802,5 \text{ mm}$, maka pengaruh ambrol muka tepi beton tidak perlu dievaluasi.

- **Kontrol kuat jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi geser.**

Menurut SNI 2847 2013 Pasal D6.2.1 gaya geser terhadap kelompok angkur sebagai berikut.

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \psi_{ec,v} \psi_{ed,v} \psi_{c,v} V_b$$

Dimana,

$$A_{vco} = 4,5(c_{a1})^2 = 4,5(321)^2 = 463684,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{vc} &= [2(1,5 c_{a1}) + s_2] \times (1,5 c_{a1}) \\ &= [2(1,5 \times 321) + 85] \times (1,5 \times 321) \\ &= 504612 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{vc}}{A_{vco}} = 1,08$$

Untuk $c_{a2} > 1,5 c_{a1}$, maka

$$\psi_{ed,v} = 1,0$$

$$\psi_{ec,v} \text{ diasumsikan} = 1$$

$$\psi_{c,v} = 1 \text{ (beton retak)}$$

V_b diambil yang terkecil dari ,

$$- V_b = \left(0,6 \left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0,2} \sqrt{d_a}\right) \lambda_a \sqrt{f'c'} (c_{a1})^{1,5}$$

$l_e = h_{ef} = 100 \text{ mm}$, d_a = diameter angkur

$\lambda_a = 1$ (Beton normal)

$$V_b = \left(0,6 \left(\frac{100}{12}\right)^{0,2} \sqrt{12}\right) 1 \sqrt{30} (321)^{1,5}$$

= 100051,54 N (Menentukan)

$$- V_b = 3,7 \lambda_a \sqrt{f'c'} (c_{a1})^{1,5} = 3,7 \times 1 \sqrt{30} (321)^{1,5}$$

$$= 116552,04 \text{ N}$$

$\psi_{ec,v}$ diasumsikan = 1

$\psi_{ed,v}$, karena $c_{a2} > 1,5 \times 300 = 450$

Maka, $\psi_{ed,v} = 1$

$\psi_{c,v} = 1,0$ (beton retak)

$$V_{cbg} = 1,04 \times 1 \times 1 \times 1 \times 100051,54$$

$$= 121214,13 \text{ N} > V_u = 54858,36 \text{ N}$$

Dari perhitungan diatas tidak perlu di kontrol karena hanya satu baut sudah melebihi gaya geser rencana.

• **Kuat pecah (*pryout*) beton angkur dalam kondisi geser**

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal D.6.3.1 kuat pecah beton angkur

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cpg}$$

Dimana, $k_{cp} = 2,0$, ($h_{ef} = 100 \text{ mm} > 65 \text{ mm}$)

$$N_{cpg} = k_c \lambda_a \sqrt{f'c'} h_{ef}^{1,5}$$

Dimana, $k_c = 10$ (Angkur dicor didalam)

$$N_{cpg} = 10 \times 1 \sqrt{30} \times 100^{1,5} = 54772,25 \text{ N}$$

$$V_{cpg} = 2 \times 54772,25 = 109544,5 \text{ N}$$

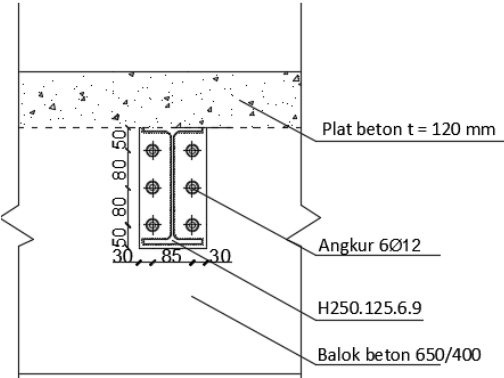
Cek Kemampuan Beton Angkur

$$V_u < \phi V_{cpg}$$

$$54858,36 < 0,75 \times 109544,5 \times 6 = 492950,3 \text{ (OK)}$$

Kesimpulan

Tulangan angkur beton dipasang dengan diameter angkur 6Ø12 mm mutu A325 dengan panjang penanaman angkur 100 mm.



Gambar 8.3 Detail sambungan angkur balok anak baja ke balok beton

BAB IX

PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH

9.1 Umum

Pondasi merupakan suatu komponen struktur yang paling utama karena berfungsi sebagai penopang seluruh elemen struktur bangunan yang kemudian beban –beban tersebut diteruskan kedalam tanah.

Dalam merencanakan pondasi harus memperhatikan jenis tanah, kondisi tanah dan struktur tanah, karena ketiga syarat tersebut menjadi peran penting tanah dalam mendukung daya dukung untuk memikul beban – beban pondasi.

9.2 Perencanaan Tiang Pancang

Tiang pancang pada gedung perkantoran ini direncanakan menggunakan tiang pancang jenis *prestressed spun pile* produk PT Wijaya Karya Beton. Spesifikasi tiang pancang yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 800 mm
- Tebal tiang : 120 mm
- Klasifikasi : A1
- Berat : 641 kg/m
- *Bending moment crack* : 40 tm
- *Bending momen ultimate* : 60 tm
- *Allowable axial load* : 415 T

9.3 Daya Dukung Tiang Pancang

Daya dukung pada tiang pancang terhadap tanah ditentukan oleh dua hal yaitu daya dukung unsur lekatan pada selimut beton (Q_s) dan daya dukung perlawanan tanah dari unsur tiang pondasi (Q_p). Jadi kedua unsur tersebut menjadi daya dukung pondasi tiang pancang.

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Selain itu, peninjauan kekuatan tanah tempat pondasi ditanam, daya dukung tiang juga harus ditinjau untuk mengetahui kekuatan tiang pancang tersebut. Daya dukung tiang pancang yang digunakan sebagai daya dukung ijin. Perhitungan daya dukung tiang dapat ditinjau dari dua kondisi, yaitu :

1. Daya dukung tiang pancang tunggal
2. Daya dukung tiang berkelompok

9.3.1 Daya dukung tanah tiang pancang tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standart Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 30 m.

$$- Q_p = q_p \times A_p$$

Dimana,

$$q_p = N_p \times K$$

N_p adalah harga rata – rata nilai SPT disekitar 4D diatas yaitu nilai SPT kedalaman 26,8 – 33,2 m

$$\frac{19+25+30}{3} = 24,67$$

K = Koefisien karakteristik tanah

= 20 t/m² , untuk tanah lempung berlanau

$$q_p = 24,67 \times 20 = 493,4$$

A_p = Luas penampang dasar tiang

$$= \frac{1}{4} \pi 0,8^2 = 0,50265 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 493,4 \times 0,50265 = 248,009 \text{ ton}$$

$$- Q_s = q_s \times A_s$$

$$= \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s$$

Dimana,

q_s = tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

N_s = Nilai SPT rata-rata sepanjang tiang tertanam,

Dengan batasan : $3 < N < 50$

$$= \frac{10+6+2+4+11+14+12+10+14+16+19+25}{12} = 12$$

$$A_s = \pi 0,8 = 2,5133 \times \text{panjang tiang yang tertanam}$$

$$= 2,5133 \times 30 = 75,398 \text{ m}^2$$

$$Q_s = \left(\frac{12}{3} + 1 \right) \times 75,398 = 376,99 \text{ ton.}$$

$$Q_u = 248,009 + 376,99 = 624,999 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin satu tiang pancang tunggal dibagi dengan angka keamanan.

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{624,999}{2,5} = 249,99 \text{ T} < P_{\text{bahan}} = 415 \text{ T (OK)}$$

9.3.2 Daya dukung tiang pancang berkelompok

Daya dukung tiang pancang yang berkelompok dipengaruhi oleh jarak antar tiang pancang. Oleh karena itu sebelum dilakukan perhitungan koefisien jarak antar tiang dan jarak tepi tiang direncanakan terlebih dahulu. Menurut Karl Terzaghi & Ralph B. Deck dalam “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2”.

- Jarak antar tiang

$$2D \leq S_1 \leq 2,5D$$

1600 ≤ 1600 ≤ 2000, maka digunakan jarak antar tiang

1700 mm

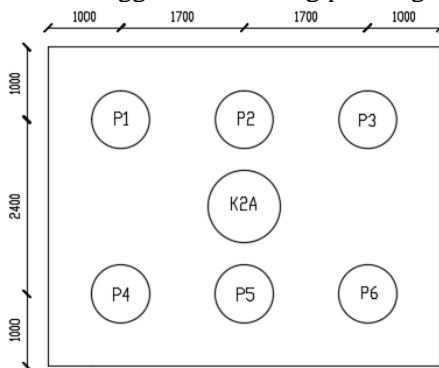
- Jarak tiang ke tepi

$$1D \leq S_2 \leq 1,5D$$

800 ≤ 1000 ≤ 1200, maka digunakan jarak tiang ke tepi

1000 mm

Direncanakan menggunakan 6 tiang pancang.



Gambar 9.1 Konfigurasi Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung pondasi berkelompok, harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi C_e .

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(\text{group})} \times n \times C_e$$

Dimana,

n = Jumlah tiang pancang dalam kelompok

Perhitungan Koefisien C_e

Dengan menggunakan perumusan Converse – Laberre :

$$E_k = 1 - \theta \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right]$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

s = jarak antar tiang pancang

m = jumlah tiang pancang dalam 1 baris

n = jumlah baris tiang pancang

Θ = Arc tg D/s (dalam derajat)

$$E_k = 1 - \left(\text{arc tgn} \frac{800}{1700} \right) \left[\frac{(2-1)3 + (3-1)2}{90 \times 3 \times 2} \right]$$

$$= 0,67$$

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = 0,67 \times 249,99 = 167,5 \text{ T}$$

Didapat dari analisis SAP 2000 beban yang diterima kolom K2A yang menerus ke pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut

	Satuan	(D + L)	(D+L+Ex)	(D+L+Ey)
P	Ton	789.48	964.72	1031.7347
Mx	Tm	12.67	26.08	19.78
My	Tm	2.63	9.69	17.42
Hx	T	9.71	14.19	5.92
Hy	T	2.64	4.2	12.27

Tabel 9.1 Beban rencana struktur pondasi

Buat tabel konfigurasi jarak tiang pancang terhadap garis netral x dan y kelompok tiang pancang.

	x	y	x ²	y ²
P1	1,2	1,7	1,44	2,89
P2	1,2	0	1,44	0
P3	1,2	1,7	1,44	2,89
P4	1,2	1,7	1,44	2,89
P5	1,2	0	1,44	0
P6	1,2	1,7	1,44	2,89
			8,64	11,56

Tabel 9.2 Konfigurasi jarak tiang pancang

Untuk mengetahui kapasitas tiang pancang yang mewakili dari seluruh tiang pancang, maka dalam perhitungan kontrol diambil yang terjauh dari sumbu netral garis x dan y yaitu P1 dan P8.

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times x_{max}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \times y_{max}}{\Sigma y^2}$$

Untuk beban tetap (tidak terpengaruh beban gempa)

$$P_{1a} = \frac{789,48}{6} \pm \frac{2,63 \times 1,2}{8,64} \pm \frac{12,67 \times 1,7}{11,56}$$

$$= 133,8 < P_{ijin \ 1 \ tiang} = 167,5 \text{ (OK)}$$

Untuk beban sementara (beban gempa) maka *safety factor* menjadi 1,5.

$$P_{1b} = \frac{1031,7347}{6} \pm \frac{17,42 \times 1,2}{8,64} \pm \frac{26,08 \times 1,7}{11,56}$$

$$= 178,21 < P_{ijin \ 1 \ tiang} = 1,5 \times 167,5 = 251,249 \text{ (OK)}$$

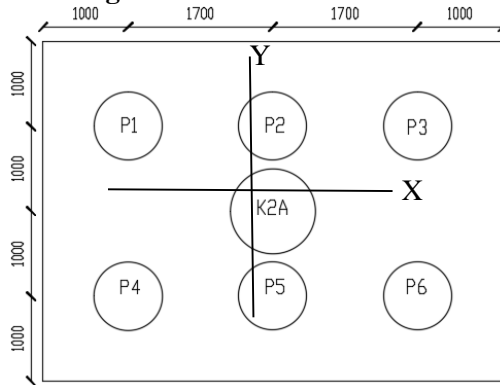
9.4 Perencanaan *Pilecap*

9.4.1 Data Perencanaan

Dimensi <i>pilecap</i>	: 5,4 m x 4 m x 2 m
P _{max}	: 178,21 T
n tiang pancang	: 6
Dimensi kolom	: Ø1 m

Jarak antar tiang : 1,7 m
 Jarak as tiang ke tepi kolom : 1,2 m
 Mutu beton (f_c') : 35 MPa
 Mutu Tulangan (f_y) : 400 MPa
 Diameter Tulangan : D22 , $A_s = 380,133 \text{ mm}^2$
 Selimut beton : 75 mm
 $dx = 1500 - 75 - 10 - 19 - 0,5 \times 19 = 1386,5 \text{ mm}$
 $dy = 1500 - 75 - 10 - 0,5 \times 19 = 1405,5 \text{ mm}$

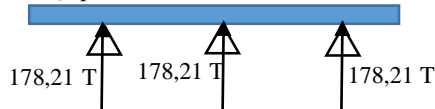
9.4.2 Penulangan Lentur



a. Arah sumbu x

Diasumsikan dengan perletakan sederhana

$$Q_u \text{ pile} = 2 \times 2 \times 2,4 = 9,6 \text{ t/m}$$



Dengan bantuan SAP 2000 didapat

$$M_{\text{tumpuan}} = 6,48 \text{ tm} = 63547093 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{Lapangan}} = 0,65 \text{ tm} = 6409428.8 \text{ Nmm}$$

- Tulangan Tumpuan (Tulangan atas)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{63547093}{4000 \times 1386,5^2} = 0,0083$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0,0083}{400}} \right) \\
 &= 0,00002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &> \rho_{\text{hitung}} \\
 0,00357 &> 0,00002
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,00357$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d = 0,00357 \times 4000 \times 1386,5 \\
 &= 19799,22 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= A_s / \frac{1}{4} \pi d^2 = 19799,22 / 380,133 \\
 \text{lapangan} &= 53 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi bersih Tulangan} &= \frac{4000 - 2 \times 75 - 2 \times 10 - (53 \times 22)}{53 - 1} \\
 &= 51 > 25 \text{ (**OK**)}
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan arah sumbu X digunakan tulangan 53D22 atau D22 – 75 mm

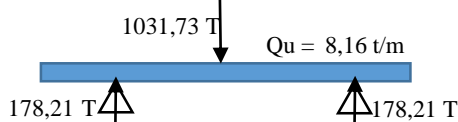
- Tulangan bawah (Tulangan bawah)

Karena momen lebih kecil dari momen tumpuan dapat disimpulkan bahwa jumlah tulangan dapat dianggap sama yaitu 53D22 atau D22 - 75

b. Arah Sumbu Y

Diasumsikan dengan perletakan sederhana

$$Q_u \text{ pile} = 2 \times 1,7 \times 2,4 = 8,16 \text{ t/m}$$



Dengan bantuan SAP 2000 didapat

$$M_{\text{Lapangan}} = 8675803147 \text{ Nmm}$$

- Tulangan Lapangan (Tulangan bawah)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35-28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) = 0,0357$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,0267$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{8675803147}{5400 \times 1405,5^2} = 0,81$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0,81}{400}} \right) \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$$

$$0,00357 > 0,002$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,00357$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d = 0,00357 \times 5400 \times 1405,5 \\ &= 27095,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_s / \frac{1}{4} \pi d^2 = 27095,2 / 380,133$$

$$\text{lapangan} = 72 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi bersih Tulangan} &= \frac{5400 - 2 \times 75 - 2 \times 10 - (72 \times 22)}{71-1} \\ &= 51 > 25 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jadi tulangan arah sumbu Y digunakan tulangan 72D22 – atau D22 – 70

- Tulangan tumpuan (tulangan atas)

Karena gaya dalam yang dihasilkan tidak terdapat momen ditumpuan maka diasumsikan jumlah tulangan atas $\frac{1}{2}$ tulangan lapangan yaitu D22 – 150

9.4.3 Kontrol Geser

$$\text{Berat pile cap} = 5,4 \times 5,4 \times 1,5 \times 2,4 = 104,97 \text{ T}$$

$$(P_{\max} + W_{\text{pilecap}}) / 6 = \frac{789,48 + 1,2 \times 104,97}{6} = 152,57 \text{ T} < 167,5 \text{ T (OK)}$$

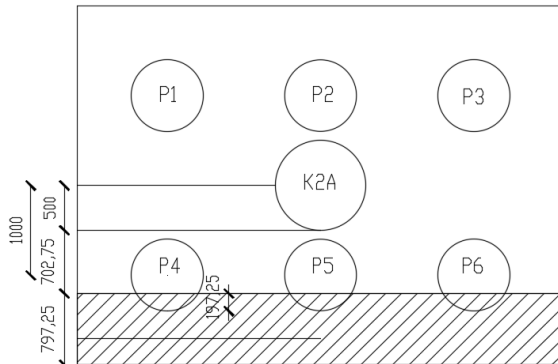
a. Satu Arah

$$\begin{aligned} \text{Cek bagian kritis} &= d/2 + \frac{1}{2} \emptyset \text{kolom} \\ &= 1405,5/2 + 500 = 1202,75 \end{aligned}$$

Jarak tepi kolom ke

$$\begin{aligned} \text{sisi terluar tiang: Jarak as kolom ke tiang} &= \frac{1}{2} \emptyset \text{kolom} \\ &= 1700 - \frac{1}{2} 1000 = 1200 < 1202,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka a} &= \frac{1}{2} \emptyset \text{tiang} + (1202,75 - 1200) \\ &= 402,75 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 9.2 Kontrol geser pile cap satu arah

$$P_{\text{reduksi}} = \frac{a}{\emptyset} P_{\text{tiang}} = \frac{197,25}{800} \times 152,57 = 37,62 \text{ T}$$

$$\begin{aligned} L &= \text{Jarak as kolom ke tepi} - d/2 \\ &= 2200 - 1202,75 = 997,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya geser yang terjadi

$$V_u = 3 \times P_{\text{reduksi}} - 1,2 \times (0,797 \times 5,4 \times 1,5 \times 2,4) \\ = 3 \times 37,62 - 18,6 = 94,26 \text{ T}$$

Kapasitas gaya geser pilecap

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \\ = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 997,25 \times 1405,5 \\ = 1409671,237 \text{ N} = 140,967 \text{ T}$$

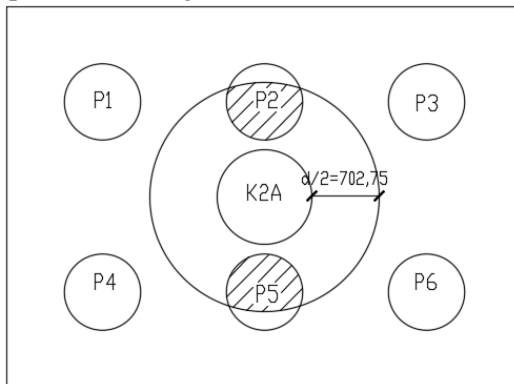
Cek Kapasitas

$$V_u < \phi V_c$$

$$94,26 < 0,75 \times 140,967 = 105,725 \text{ T (OK)}$$

b. Dua Arah Akibat Kolom dan Tiang

Kuat geser dua arah dipengaruhi oleh bagian tiang yang terkena daerah kritis geser dua arah. Dengan bantuan autocad didapat luas area tiang pancang yang terdapat didalam bagian kritis.



Gambar 9.3 Kontrol geser pile cap dua arah

$$\lambda = \frac{\text{Luas daerah kritis tiang (arsiran)}}{\text{Luas total tiang}}$$

$$\lambda = \frac{786436 \text{ mm}^2}{6 \times 0,25 \times \pi \times 800^2} = 0,26$$

$$U = \pi(\frac{1}{2}\phi_{\text{kolom}} + d/2)$$

$$U = 4572,588 \text{ mm}$$

$$P_{u,\text{punch}} = P_{u,\text{max,kolom}} + W_{u,\text{pile}} - P_{\text{pile}}$$

$$= 1034,82 + 1,2(4,573 \times 2,4 \times 1,5) - 178,21 \times 0,26$$

$$= 1008,24 \text{ T}$$

$$\tau_u = \frac{P_{u,punch}}{U \cdot d}$$

$$= \frac{1008,24}{4,573 \times 1,4055} = 156 \text{ T/m}^2 = 0,015 \text{ N/mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.11.2.1 untuk beton non prategang V_c adalah sebagai berikut

$$- V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

β = rasio sisi terpendek terhadap sisi terpanjang

$$= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) = 0,34$$

$$- V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s + d}{b_o} + 2 \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

α_s = untuk kolom interior = 40

$$= 0,083 \left(\frac{40 \times 1405,5}{4572,588} + 2 \right)$$

$$= 1,186$$

$$- V_c = 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 0,33$$

Dari ketiga V_c diatas dipilih $V_c = 0,033$

Kapasitas Geser Beton

$$V_c = 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 4572,588 \times 1405,5$$

$$= 12547028,49 \text{ N}$$

$$= 1254,7 \text{ T} > P_{u,punch} = 1008,24 \text{ T (OK)}$$

Tegangan Geser Beton

$$\tau_c = 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$= 1,952 \text{ MPa} > 0,015 \text{ MPa (OK)}$$

c. Dua Arah Tiang Individu

$$P_{pile} = 178,21 \text{ T} = 1782100 \text{ N}$$

$$b_c = \pi (\emptyset_{tiang} + d)$$

$$= \pi (800 + 1405,5) = 6928,78 \text{ mm}^2$$

$$\tau_u = \frac{P_{u,punch}}{b_c \cdot d} = \frac{1782100}{6928,78 \times 1405,5} = 0,18 \text{ MPa}$$

Tegangan Geser Beton

$$\begin{aligned}\tau_c &= 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \\ &= 1,952 \text{ MPa} > 0,18 \text{ MPa (OK)}\end{aligned}$$

9.5 Penulangan Sloof

Struktur sloof digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan antar pondasi dengan kata lain sloof berfungsi sebagai pengaku antara satu pondasi dengan pondasi yang lainnya.

Berikut contoh perhitungan struktur sloof melintang (SL1) yang mewakili perhitungan sloof lain pada bangunan.

9.5.1 Data Sloof

Panjang Sloof	: 7653 mm
Tinggi Sloof (h)	: 650 mm
Lebar Sloof (b)	: 400 mm
Luas sloof (A)	: 260000 mm ²
Lebar bersih sloof (ln)	: 6653 mm
Selimut Beton	: 50 mm
Mutu Beton	: 30 MPa
Mutu Tulangan	: BJTD 41 = 392 MPa
Mutu Sengkang	: BJTP 24 = 235 MPa
Data Tulangan	
- Tulangan	: 19 mm
- Sengkang	: 10 mm

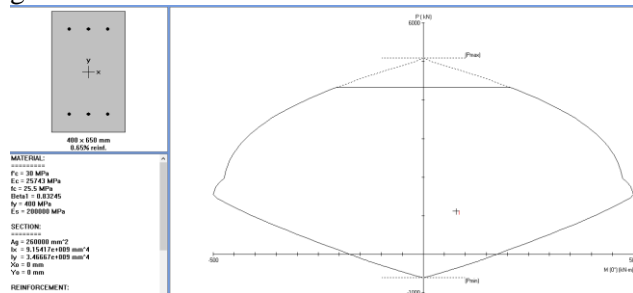
9.5.2 Data Gaya

Pu Kolom	= 11155324.4 N
Pu Sloof	= 10% x 11155324.4
	= 1115532,4 N
Berat Sendiri	= 2400 kg/m ³ x 0,26 mm ²
	= 624 kg/m
Berat Dinding	= 60 kg/m ² x 4 m
	= 240 kg/m
qD	= Berat sendiri + berat dinding
	= 624 kg/m + 240 kg/m
	= 864 kg/m
Qu	= 1,4 qD

$$\begin{aligned}
 &= 1,4 \times 864 \text{ kg/m} \\
 &= 1209,6 \text{ kg/m} \\
 V_u &= \frac{1}{2} Q_U \cdot L \\
 &= \frac{1}{2} \times 1209,6 \text{ kg/m} \times 7,653 \text{ m} \\
 &= 4628,53 \text{ kg} \\
 &= 46285,3 \text{ N} \\
 M_u &= \frac{1}{12} \cdot Q_U \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1209,6 \text{ kg/m} \times 7,653 \text{ m}^2 \\
 &= 5903,69 \text{ kg/m} \\
 &= 59036956 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

9.5.3 Perhitungan Tulangan Lentur

Penulangan pada sloof didasarkan pada pembebanan aksial dan lentur. Dengan program bantu PCACOL didapatkan diagram interaksi aksial-momen pada gambar berikut.



Gambar 9.4 Diagram interaksi sloof

Dari gambar interaksi diatas, didapatkan hasil penulangan yang dipasang 3D19 pada sisi atas dan 3D19 pada sisi bawah.

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar tulangan} &= \frac{400 - (2.50) - (2.10) - (3.19)}{2} \\
 &= 111,5 \text{ mm} < 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

9.5.4 Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser ditentukan sebagai berikut

$$d' = 650 - 50 - 10 - \frac{1}{2}19$$

$$\begin{aligned}
 &= 580,5 \text{ mm} \\
 V_c &= \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag}\right) \frac{1}{6} \sqrt{F'c} \cdot bw \cdot d' \\
 &= \left(1 + \frac{1115532,4}{14.260000}\right) \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 580,5 \\
 &= 276929,58 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi \cdot V_c \\
 46285,3 \text{ N} &\leq 0,75 \times 276929,58 \text{ N} \\
 46285,3 \text{ N} &\leq 207697,185 \text{ N} \text{ (**OK**)}
 \end{aligned}$$

Jadi dipasang tulangan geser minimum

$$S_{maks} = d/2 = 580,5/2 = 290,25 \text{ mm atau } 300 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil 290,5 mm \approx 250 mm

$$A_{v \min} = \frac{b_w x s}{3 f_y} = \frac{400 \times 250}{3 (400)} = 83,33 \text{ mm}^2$$

Dipasang sengkang 2Ø8 – 250 mm

BAB X

METODE PELAKSANAAN BALOK BAJA

10.1 Persiapan

10.1.1 Alat yang digunakan

a. Tower crane

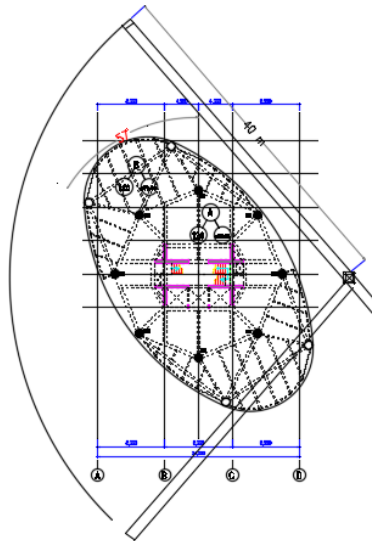
Alat ini digunakan untuk *lifting* balok – balok baja yang akan di pasang pada tempat yang direncanakan. Kapasitas *tower crane* yang akan digunakan harus menyesuaikan berat balok baja terberat yang akan diangkat. Dalam pelaksanaan struktur gedung ini balok baja terberat adalah H588 x 300 x 20 x 12 dengan bentang 12 m yaitu 1812 kg.



吊钩高度 m	H (m)	Q (t)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
70	40.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	8.7	7.5	6.8	6.1	5.5	5.0
	21.0	20.0	16.3	13.0	10.8	9.1	7.8	6.6	5.9	5.2	4.6	4.1
65	41.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	8.0	7.3	6.5	5.7	
	21.2	20.0	17.0	13.6	11.0	9.1	8.1	7.1	6.4	5.4	4.8	
60	41.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.3	8.2	7.5	6.5		
	21.4	20.0	17.4	13.9	11.4	9.7	8.4	7.3	6.6	5.6		
55	42.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.4	8.3	7.6			
	21.6	20.0	17.6	14.1	11.7	9.9	8.5	7.4	6.7			
50	42.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.4	8.3				
	21.6	20.0	17.6	14.1	11.7	9.9	8.5	7.4				
45	42.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.6					
	22.0	20.0	17.9	14.4	11.9	10.1	8.7					
40	42.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0						
	22.0	20.0	17.9	14.4	11.9	10.1						

Gambar 10.1 Contoh spesifikasi tower crane
(Sumber : www.jiangluieco.com)

Selain kapasitas angkat, penting untuk memperhatikan jangkauan terjauh dari *tower crane* itu sendiri seperti gambar dibawah ini.



Gambar 10.2 Denah letak tower crane

Dilihat dari gambar jangkauan terjauh pekerjaan balok baja ada ± 40 m.

b. Alat – alat pengelasan

Didalam pekerjaan struktur baja, pekerjaan balok baja harus memenuhi kriteria pelaksanaan agar tidak mengurangi kekuatan las yang biasanya dikerjakan secara khusus di tempat pengelasan. Namun dalam pekerjaan dilapangan terdapat beberapa bagian struktur yang harus dikerjakan di lokasi gedung.

Selain itu pengadaan alat – alat pengelasan juga berguna untuk mengevaluasi komponen struktur yang tidak sesuai perencanaan karena perubahan

akibat beberapa faktor sehingga tidak sesuai perencanaan.

c. Pemotong baja

Alat ini hanya digunakan untuk memotong beberapa balok baja yang profilnya seperti panjangnya tidak sesuai dengan yang ada dilapangan.

d. Peralatan survei atau pemetaan dan pengukuran

Digunakan untuk mengukur *levelling* dan kemiringan struktur. Alat untuk mengukur ketebalan pelat dan panjang juga harus disediakan.

10.1.2 Gambar Kerja

Sebelum fabrikasi kontraktor harus membuat gambar-gambar kerja */shop drawing* yang diperlukan yang kemudian diserahkan kepada konsultan untuk diperiksa kembali dan disetujui untuk diadakan. Apabila telah disetujui oleh konsultan, maka kontraktor dapat memulai pekerjaan fabrikasi. Adapun gambar kerja yang dilampirkan adalah ukuran/ dimensi profil balok, ketebalan pelat, jumlah baut, jarak baut, dan ketebalan las sambungan.

10.2 Fabrikasi

Selama proses fabrikasi kontraktor harus menempatkan staf ahli untuk mengawasi proses pembuatan komponen baja yang dipesan. Pemotongan elemen – elemen harus dilaksanakan dengan rapi dan sesuai dengan bentuk yang ada pada gambar kerja. Proses pengelasan pelat dan pembuatan lubang baut harus secara tepat seperti jarak antar baut dan lubang baut yang telah diatur dalam SNI bahwa toleransi *oversized* lubang baut adalah 2 mm. Dalam hal ini staf ahli lah yang harus mengecek ketepatan ukuran sebelum elemen akan dikirim.

10.3 Pemasangan

Tahap ini menjelaskan secara umum urutan pelaksanaan pemasangan balok baja.

1. Pengukuran ulang

Dilakukan setelah komponen baru datang dari bengkel. Penerimaan komponen bisa dilakukan setelah dilakukan pengukuran ulang dan sesuai dengan yang dipesan.



Gambar 10.3 Pengukuran dimensi balok baja

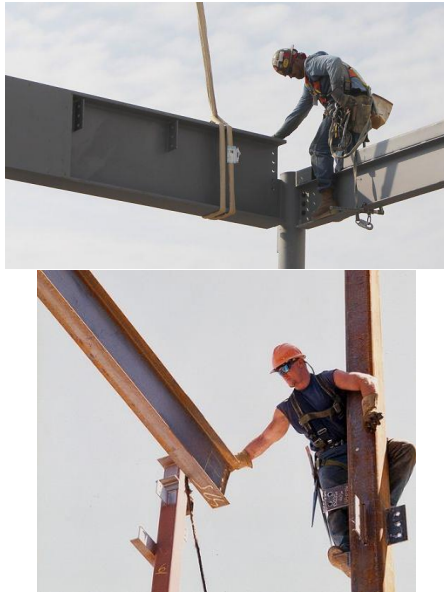
2. *Marking* komponen

Penandaan komponen dilakukan untuk mempermudah proses pada saat akan dipasang mengingat balok pada struktur bangunan ini memiliki bentuk dan bentang yang berbeda – beda. Penandaan menggunakan cat atau sejenisnya yang tidak mudah.

3. Pengangkur

Angkur yang direncanakan dalam perhitungan adalah ankur yang dipasang sebelum proses pengecoran. Pengangkur jenis ini harus memperhatikan beberapa hal salah satunya adalah memastikan ankur dalam posisi yang tepat pada saat pengecoran. Untuk mencegah berubahnya posisi ankur, kelompok ankur diberikan ikatan berupa sengkang yang dilas. Pengelasan hanya ditujukan untuk sengkang dan berfungsi untuk mengikahi antar ankur. Pengelasan ankur tidak diperkenankan karena akan mempengaruhi kekuatan ankur.

4. Pengukuran kondisi yang ada dilapangan
Pekerjaan balok baja pada gedung ini dilaksanakan setelah struktur utama beton selesai dikerjakan. Pada saat pengecoran kemungkinan bisa terjadi kemiringan antar kolom ataupun balok beton yang tentunya dapat merubah bentang balok baja yang akan dipasang. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran bentang dan penyesuaian posisi angkur atau lubang baut yang telah dipasang di kolom dan balok beton.
5. Pengangkatan
Balok diangkat menggunakan tower crane pada titik yang telah ditentukan. Balok dikaitkan dengan hook pada tower crane.

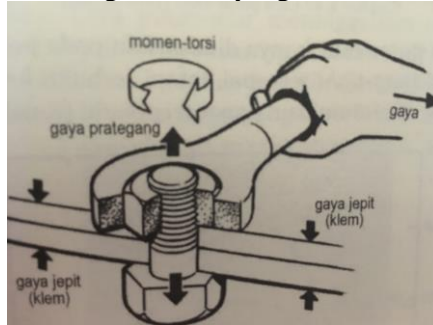


Gambar 10.4 Pemasangan balok baja
(Sumber : www.cnsnews.com)

Pekerja yang berada di lokasi bertugas untuk menempatkan posisi balok yang ditentukan.

6. Pemasangan baut

Setelah posisi balok tepat, dilakukan pengencangan baut secara manual dengan teknik yang benar.



Gambar 10.5 Proses pengencangan baut manual (Sumber : Wiryanto Dewobroto)

Mengukur besarnya gaya prategang di baut adalah tidak mudah, apalagi dilakukan dilapangan. Oleh karena itu proses penyambungan menggunakan *wrench* yang telah dikaitkan dengan *torque wrench* hingga dapat dikatakan kencang.

7. *Levelling*

Pengukuran kelurusan dan kemiringan balok yang telah dipasang dengan menggunakan waterpass.

BAB XI

KESIMPULAN

11.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan struktur sekunder didapatkan :
 - a. Plat lantai *irregular slab* menggunakan tebal :
 - Lantai atap $t = 100$ mm
 - Lantai perkantoran $t = 120$ mm
 - Lantai lobi = 150 mm
 - b. Plat lantai *regular slab* menggunakan tebal
 - Lantai balkon = 120 mm
 - Lantai parkir = 120 mm
 - c. Balok anak baja
 - H250 x 125 x 6 x 9
 - c. Tangga :
 - Tebal plat $t = 120$ mm
 - d. Balok lift
 - Balok penumpu 300 x 200
2. Dari hasil perhitungan struktur primer didapatkan :
 - a. Balok:
 - H500 x 200 x 10 x 16
 - H588 x 300 x 20 x 12
 - b. Kolom :
 - Lantai 1 – 20 dan atap $\varnothing 1000$ mm
 - Lantai balkon $\varnothing 800$ mm
 - Lantai parkir 700/700
3. Permodelan analisis struktur menggunakan porogram bantu SAP 2000v14, dengan 4 kontrol desain yaitu:
 - a. Kontrol partisipasi massa.

- b. Kontrol periode getar struktur.
 - c. Kontrol gaya gempa dasar
 - d. Kontrol sistem ganda (*dual system*)
 - e. Kontrol batas simpangan (*drift*).
4. Perencanaan sambungan di desain menggunakan kombinasi beban ultimate yang didapat dari output SAP. Dalam perencanaan ini, sambungan yang digunakan adalah sambungan baut & angkur yang tertanam di beton .
5. Pondasi struktur menggunakan tiang pancang PT. WIKA Beton dengan D = 80 cm (tipe A1) dengan kedalaman 30 m berdasarkan hasil penyelidikan tanah SPT (*Standard Penetration Test*).
- Hasil dari perencanaan struktur dapat dilihat pada lampiran gambar berupa gambar teknik.

11.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir terapan ini tentu penulis tidak luput dari kesalahan baik dari perhitungan dan permodelan yang dibuat oleh penulis. Oleh karena itu terdapat berbagai pendapat dan saran untuk agar kiranya dapat dilakukan referensi dalam merencanakan suatu struktur gedung

1. Permodelan struktur pada gedung yang tidak beraturan seperti gedung ini harus dengan teliti dimodelkan kedalam program. Beberapa diantara yang harus diperhatikan dalam permodelan adalah titik-titik pertemuan antara elemen struktur, dimensi elemen, dan perletakan yang digunakan.
2. Kontrol – kontrol yang berhubungan dengan angkur sebaiknya memperhatikan efek akibat dari pelaksanaan pengecoran apabila angkur dipasang sebelum pengecoran

DAFTAR PUSTAKA

- Iswandi Imran & Fajar Hendrik. 2014. *Perencanaan Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB.
- Agus Setiawan. 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.
- Wang, C.K. & Salmon, C.G. 1985. *Disain Beton Bertulang. Edisi Keempat*. Diterjemahkan oleh: Binsar Hariandja. Jakarta: Erlangga.
- Schueller, W. 1989. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Diterjemahkan oleh: Januar Hakim. Bandung: Eresco.
- Cook, R.A. et al. 1989. *Design guide for steel to concrete connection*. Austin: The University of Texas.
- Dewobroto, W. 2016. *Struktur Baja Edisi Ke-2*. Tangerang: Jurusan Teknik Sipil UPH
- SNI 1726-2012. Tata Cara Desain Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- SNI 1727-2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- SNI 1729-2015. Spesifikasi untuk Bangunan Baja Gedung Struktural.
- SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Dimas Putra Triyanto lahir di Sidoarjo, 12 Desember 1994 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Harapan Sidoarjo, SD Sawotratap Sidoarjo, SMPN 32 Surabaya, dan SMA Khadijah Surabaya. Setelah lulus dari sekolah menengah atas penulis melanjutkan studinya di program studi D4 Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS Surabaya pada tahun 2013.

Pada masa perkuliahan di ITS, penulis berkesempatan untuk mengikuti berbagai kegiatan di lingkungan ITS baik itu ke profesional maupun non-profesi.

Penulis berharap agar Tugas Akhir Terapan ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan juga bagi penulis sendiri. Apabila ada kesalahan dalam penulisan dan perhitungan adalah murni kesalahan penulis. Untuk itu jika ingin ada yang disampaikan lebih detail kepada penulis dapat menghubungi kontak berikut.

Email : dimas.t.putra@gmail.com

No. Telp : 082139607060

LAMPIRAN 1
DATA TANAH

DRILLING LOG

Project No. : 1		Project : Jalan Tondra Utama Kertanegara		Type of Drilling : Entry		Date : 14 - 27 Juli 2012	
Scale : 1:500		Location : Kertanegara Kuching		Sheet : 14		Driller : Dendik	
Water Table : - 5.50 M		Elevation : + 0.0 (seas level)		Driller : Dendik			

Depth (m)	Depth (ft)	Soil Description	Soil Type	Soil Color	Soil Moisture (%)	Soil Temperature (°C)	Standard Penetration Test		Physical Properties					Atterberg Limit		Consolidation Test		Strength Test		
							SPN (blows/30cm)	N ₆₀ Value	F _c (%)	W _L (%)	W _P (%)	LL (%)	PL (%)	Shrinkage (%)	Swell Test (%)	Preload (kPa)	Termination (kPa)	σ ₁ (kPa)	σ ₃ (kPa)	
0.00	0.00																			
1.00	3.28	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	4	10	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.11	1.0
2.00	6.56	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	8	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.16	1.1
3.00	9.84	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	2	1	1	1	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.1	0.8
4.00	13.12	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	4	1	2	2	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
5.00	16.40	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
6.00	19.68	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
7.00	22.96	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
8.00	26.24	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
9.00	29.52	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
10.00	32.80	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
11.00	36.08	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
12.00	39.36	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
13.00	42.64	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
14.00	45.92	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
15.00	49.20	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
16.00	52.48	Lumping Reddish Brown Silty Clay	Very Soft to Medium	10YR 5/6	10	2	2	4	1.00	40.00	60.00	1.00	20.0	50.0	1.00	0.00	-	U	0.23	2.1
17.00	55																			

LAMPIRAN 2
BROSUR TIANG PANCANG

PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm²)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack *	Break			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.70	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.00	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

Unit Conversion : 1 ton = 9.8000 kN

**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

***) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe